



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# PROGRESIVNÍ BEDNÍCÍ SYSTÉM S PROTIKOROZNÍ OCHRANNOU FUNKCÍ

PROGRESSIVE TYPES OF FORMWORK WITH ANTICORROSION PROTECTIVE FUNCTION

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Marek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,  
MBA

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Martin Marek
<b>Název</b>	Progresivní bednicí systém s protikorozní ochrannou funkcí
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

1. G.L. Scattergood, Corrosion inhibitors for crude oil refineries, corrosion, ASM Handbook, vol. 13, ASM International, 1992.
2. G. TrabANELLI, in: F. Mansfeld (Ed.), Corrosion Inhibitors, Chemical Industries: Corrosion Mechanism, Chapter 3, vol. 28, 1987, pp. 119–163.
3. I.N. Putilova, S.A. Balezin, V.P. Barannik, Metallic Corrosion Inhibitors, Pergamon Press, New York, 1960. p. 31.
4. M. Finšgar, J. Jackson Application of corrosion inhibitors for steel in acidic media for the oil and gas industry: A review In Corrosion Science 86 (2014) 17–41
5. S.A.M. Refaey, Inhibition of steel pitting corrosion in HCl by some inorganic anions, Appl. Surf. Sci. 240 (2005) 396–404.
6. Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report. In Construction and Building Materials 22 (4), 2008, p. 609-622
7. B. Bavarian The Efficacy of using Migrating Corrosion Inhibitors. (MCI 2020 & MCI 2020M) for Reinforced Concrete, 2004

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Koroze výztuže v betonových konstrukcích je jednou z dominantních faktorů, jejímž působením se významně zkrátí životnost konstrukce. Jedním z způsobů ochrany je využití inhibitorů koroze. Inovativně v této práci bude uvažováno s využitím inhibitoru přímo v bednicích prvcích, které pak výrazně přispějí k ochraně výztuže.

V rámci bakalářské práce autor provede.

1. V teoretické části popíše veškeré druhy inhibitorů koroze dle způsobu jejich inhibičního chování (anodické, katodické a absorpční) a provede rešeršní průzkum stávající materiálové báze tradičních inhibitorů. Dominantní část práce bude věnována problematice tzv. migrujících inhibitorů (MCIs), kdy autor popíše základní mechanismus jejich migrace v pórovitém betonovém prostředí a rovněž popíše možnosti detekce těchto inhibitorů v cementové matrici. Další část rešeršní části práce bude bakalář věnovat možnosti detekce účinnosti inhibitorů koroze, tzn. popisem principu metod detekujících vliv inhibitoru na úbytek koroze takto chráněné výztuže.
2. Aplikaci inhibitoru do bednicích prvků (dřevocementový dílec, silikátový dílec a bednicí dílec na dřevěné bázi), u nichž bude experimentálně ověřena jejich přítomnost a fixace do matrice těchto dílců.
3. Detekci migrace inhibitorů ze všech posuzovaných bednicích dílců přes pórový betonový systém k výztuži různě zvolenými metodami
4. Vyhodnotí účinnost inhibitorů u zkušebních železobetonových těles zabudovaných do posuzovaných inovativních bednicích prvků po vystavení těchto těles zrychlených korozním testům.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

## **ABSTRAKT**

Nejčastější příčinou poruch železobetonových konstrukcí je koroze výztuže, která má za následek výrazné snížení životnosti konstrukce. Předmětem této práce je vývoj progresivního bednicího systému s protikorozní ochrannou funkcí. Teoretická část se zabývá studií a popisem dostupných inhibitorů koroze, zejména inhibitorů migrujících. Obsahuje však také souhrn principů koroze výztuže v betonu. Cílem práce je aplikace výše zmíněných migrujících inhibitorů koroze do bednicího systému a základní ověření jejich účinnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Výztuž do betonu, koroze výztuže, inhibitor koroze, migrace, bednicí systém.

## **ABSTRACT**

The corrosion of the reinforcement is the main cause of malfunction of the reinforced concrete. It causes meaningful increase of liveness of the construction. The subject of this thesis is development of progressive concrete reinforcement with anticorrosive protective function. Theoretical part is focused on study and description of available corrosion inhibitors, mainly migrating inhibitors. Theory also includes summary of the principles of concrete reinforcement corrosion. The purpose of the thesis is application of migrating corrosion inhibitors to the formwork and basic testing of their efficiency.

## **KEYWORDS**

Concrete reinforcement, reinforcement corrosion, corrosion inhibitor, migration, formwork.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Martin Marek *Progresivní bednicí systém s protikorozi ochrannou funkcí*. Brno, 2018. 72 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 5. 2018

---

Martin Marek  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc., MBA za odborné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

1. ÚVOD .....	11
2. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ .....	12
3. KOROZE VÝZTUŽE V BETONU .....	13
3.1. Rozdělení koroze podle korozního děje .....	13
3.1.1. Chemická koroze .....	13
3.1.2. Elektrochemická koroze .....	14
3.1.3. Koroze bludnými proudy .....	16
4. INHIBITORY KOROZE VÝZTUŽE .....	17
4.1.1. Anorganické inhibitory .....	17
4.1.2. Katodické inhibitory .....	19
4.1.3. Organické inhibitory .....	20
4.1.4. Smíšené inhibitory .....	21
5. STÁVAJÍCÍ INOVATIVNÍ SMĚR VÝVOJE INHIBITORŮ .....	26
5.1. Green inhibitors .....	26
5.1.1. Organické <i>green inhibitors</i> .....	26
5.1.2. Anorganické <i>green inhibitors</i> .....	26
6. MIGRUJÍCÍ INHIBITORY (MCIs) .....	27
6.1. Obecný popis .....	27
6.2. Druhy MCIs .....	27
6.2.1. Organické MCI .....	27
6.2.2. Anorganické MCI .....	28
6.3. Princip migrace .....	29
6.3.1. Kapilární elevace .....	29
6.3.2. Difúze .....	29
6.3.3. Adsorpce .....	30
7. ZPŮSOBY DETEKCE INHIBITORŮ V CEMENTOVÉ MATRICI .....	31
7.1. XRF – Rentgenová fluorescenční spektrometrie .....	31
7.2. XPS – Rentgenová fotoelektronová spektroskopie .....	31
7.3. FTIR – Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací .....	32
8. CÍL PRÁCE .....	33
9. METODIKA PRÁCE .....	34
10. ETAPA 1 – VÝBĚR MIGRUJÍCÍCH INHIBITORŮ .....	36
10.1. Migrující inhibitory koroze – přísada do čerstvé směsi .....	36
10.1.1. SIKA FerroGard 901 .....	36



10.1.2. BASF MasterLife CI 222 .....	37
10.1.3. BASF MasterLife CI 30 .....	37
10.1.4. W.R. Grace & Co. – DCI .....	38
10.1.5. W.R. Grace & Co. – DCI-S .....	38
10.1.6. EUCLID CHEMICAL Eucon CIA .....	39
10.1.7. EUCLID CHEMICAL Eucon BCN.....	39
10.1.8. BETOSAN Armoguard P.....	40
10.1.9. CORTEC MCI 2006 NS .....	40
10.1.10. Zhodnocení migrujících inhibitorů koroze – přísada do čerstvé směsi .....	41
10.2. Migrující inhibitory koroze – ve formě nátěru.....	42
10.2.1. DRIZORO Maxrite Inhibitor .....	42
10.2.2. SIKAFERROGARD 903 Plus .....	42
10.2.3. CORTEC MCI 2020 .....	43
10.2.4. CORTEC MCI 2021 .....	43
10.2.5. BASF MasterProtect 8000 CI .....	44
10.2.6. FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020.....	44
10.2.7. Zhodnocení migrujících inhibitorů – ve formě nátěru .....	45
11. ETAPA 2 – VÝBĚR BEDNÍCÍCH DÍLCŮ A VÝBĚR BETONOVÉHO JÁDRA..	47
11.1. Silikátové bednicí dílce .....	47
11.1.1. Bednicí tvarovka BTB – PREFABRNO .....	47
11.1.2. Ztracené bednění – BEST .....	48
11.1.3. Bednicí tvárnice CSB – CS-BETON .....	49
11.1.4. Tvárnice ztraceného bednění T PD– BETON BROŽ .....	49
11.2. Dřevocementový bednicí dílec.....	50
11.2.1. Dřevocementová tvárnice IZOBLOK – MFC-MORFICO .....	50
11.2.2. Štěpkocementová deska WSD – VELOX .....	51
11.3. Bednicí dílec na dřevěné bázi .....	52
11.3.1. Třívrstvá vodovzdorná bednicí deska – DOKA .....	52
11.3.2. Vodovzdorná bednicí deska FinPly Maxi – PERI.....	53
11.3.3. Velkoplošná překližovaná deska bez vodovzdorné úpravy – AZ WOOD .....	53
11.4. Výběr a porovnání jednotlivých bednicích dílců .....	54
11.4.1. Silikátový a dřevocementový bednicí dílec .....	54
11.4.2. Bednicí dílec na dřevěné bázi.....	55
11.5. Výběr složení betonového jádra.....	55

12. ETAPA 3 – PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ MIGRACE INHIBITORU KOROZE .....	57
12.1. Určení vybraných parametrů zkoušených materiálů .....	57
12.1.1. Betonové výplňové jádro .....	57
12.1.2. Bednicí dílce .....	59
12.2. Aplikace inhibitoru .....	60
12.3. Zjišťování hloubky průniku migračního inhibitoru Sika FerroGard 903 Plus .....	62
12.3.1. Výsledky zkoušek hloubky penetrace – betonové výplňové jádro .....	63
12.3.2. Výsledky zkoušek hloubky penetrace – bednicí dílce .....	64
13. ZÁVĚR .....	66
14. SEZNAM LITERATURY .....	68
15. SEZNAM TABULEK .....	70
16. SEZNAM OBRÁZKŮ .....	71
17. SEZNAM GRAFŮ .....	72

# 1. ÚVOD

V dnešní době je železobeton na základě výborných mechanických vlastností celosvětově jedním z nejpoužívanějších konstrukčních materiálů. Železobeton je tvořen cementovou matricí a ocelovou výztuží, která tvoří nosnou kostru materiálu. Výztuž je zabudovaná do struktury betonu, kde plní především statickou funkci, tzn. zlepšuje tahové vlastnosti betonu.

Jednou z nejdůležitějších vlastností železobetonu je jeho životnost. Prodlužování životnosti má především vliv na úsporu nákladů, protože případné sanace a opravy konstrukcí jsou finančně i časově náročné.

Působením agresivních vnějších vlivů, dochází na povrchu výztuže k oxidačně redukčním reakcím, jejichž produkty mají několikanásobně vyšší objem, čímž vznikají tahové napětí v okolí výztuže. Tyto tahové napětí překonávají mez pevnosti betonu v tahu. Dochází k porušení struktury betonu, a tak snižování jeho statické únosnosti. Z tohoto důvodu by bylo vhodné používat již při výstavbě moderní materiály s obsahem protikorozních látek, které by účinkům těchto agresivních vlivů předcházeli. Mezi tyto protikorozní látky patří migrující inhibitory koroze, kterými je možné opatřit materiály pro výstavbu různých konstrukcí, a tak zabránit vzniku koroze ocelové výztuže.

## 2. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Výztuží se obecně rozumí souhrn všech vložek, jejichž vhodným umístěním v betonu se zlepšují výsledné mechanické vlastnosti železobetonové konstrukce. Tyto vložky jsou obvykle kovové, přibývá však i případů užití nekovové výztuže. Přitom výztuž přebírá především tahová a smyková napětí, tj. ta, kterým beton vzdoruje jen velmi málo. Množství a poloha výztuže v betonových konstrukcích se řídí jednak statickými výpočty, jednak konstrukčními zásadami.

Vedle funkce statické – nosné může mít část výztuže úkoly jen ryze konstrukční, kdy tato výztuž napomáhá k vytvoření a fixaci jednotlivých výztužných celků v bednění před uložením do betonu.

Betonářská výztuž se vyrábí z ocelí válcovaných za tepla, jejichž pevnost v tahu je přibližně stejná jako pevnost v tlaku a současně mnohonásobně vyšší než odpovídající pevnosti betonu. Řádově je pevnost betonářských ocelí 10x vyšší než pevnost betonu v tlaku a 100x vyšší než pevnost betonu v tahu. Pevnost betonářských ocelí se odvozuje, podobně jako u betonu, z mezních hodnot napětí dosažených při namáhání. Hlavní význam má přitom souvislost mezi přetvořením a odpovídajícím napětím. [1] [2]

Rozdělení betonářské výztuže podle složení a mechanických vlastností:

- Uhlíkaté oceli měkké
- Uhlíkaté oceli středně tvrdé
- Tvrdé oceli, mírně legované
- Oceli tvářené za studena

Rozdělení betonářské výztuže podle tvaru:

- Tyčová výztuž
- Skupinové výztužné složky
- Svařované sítě
- Svařované mřížoviny a svařované kostry
- Tuhá výztuž
- Rozptýlená výztuž

### 3. KOROZE VÝZTUŽE V BETONU

Koroze kovů je definována jako nežádoucí porucha na povrchu kovu vzniklá chemickými a elektrochemickými reakcemi s okolím (plyn, kapalina, pevná látka). Tyto poruchy vedou zejména ke změnám vlastností, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami. Koroze vede ke snížení primárních užitných vlastností kovových materiálů, tj. snížení mechanických vlastností, zhoršení přestupu tepla, zhoršení estetických vlastností (vzhledu), což nakonec může vést k úplné ztrátě funkce a integrity kovu. Ze všech stavebních materiálů, nejvíce podléhá korozi nechráněná ocel. Na povrchu vznikají vrstvy korozních zplodin, které mají jiné vlastnosti než materiál před napadením korozí. Životností ocelové výztuže, která podléhá koroznímu působení prostředí, je určována životnost železobetonu. Trhliny v betonu jsou způsobeny dvakrát objemnějšími korozními produkty železa, které v okolí výztuže vyvolávají pnutí. Stanovení koroze se provádí různými způsoby, od vizuálního posouzení až po použití moderní spektroskopie. [3] [4] [5] [6]

#### 3.1. Rozdělení koroze podle korozního děje

##### 3.1.1. Chemická koroze

Chemická koroze je způsobena chemickými látkami, které jsou ve styku s kovem. Na kov mohou působit látky ve vodných i nevodných roztocích, ale také plyny. Příkladem chemické koroze vodným prostředím je působení kyselin na kovy, např. kyseliny chlorovodíkové na železo.



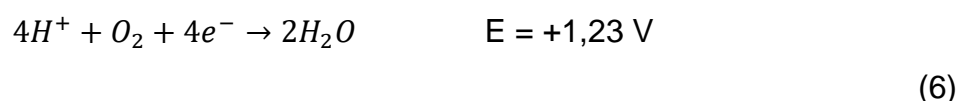
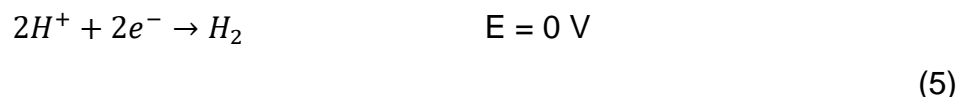
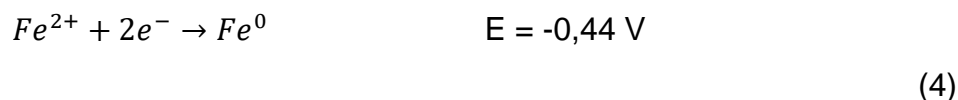
Chemická koroze je také působení roztoků hydroxidů na amfoterní kovy, kdy dochází k jejich postupnému rozpouštění a vytváření aniontových struktur, např. u zinku nebo hliníku. Korozi způsobují plynné látky oxidačního nebo redukčního charakteru. Zatímco oxidující látky působí na povrchu kovu a převádějí kov do vyššího oxidačního stavu např.



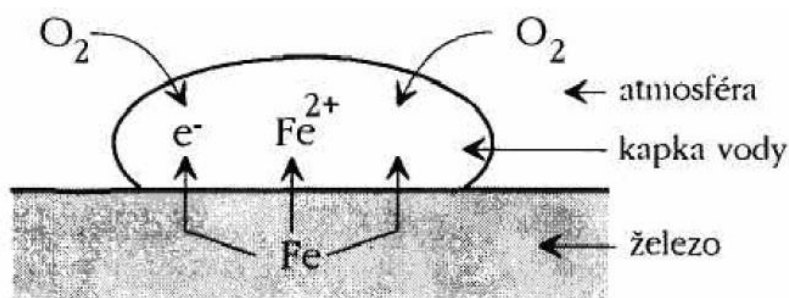
plyny redukčního charakteru, např. vodík se mohou v kovech rozpouštět a způsobovat jejich křehnutí. [3] [4]

### 3.1.2. Elektrochemická koroze

Podstatou elektrochemické koroze je tvorba lokálních elektrických článků, vzniklých rozdílem potenciálů při styku dvou různých kovů nebo v důsledku rozdílných koncentrací kovu. Kovy se oxidují uplatněním vlivu vzdušného kyslíku, vlhkosti, kyselinotvorných oxidů apod. Průběh dějů lze nejlépe znázornit na korozi železa.

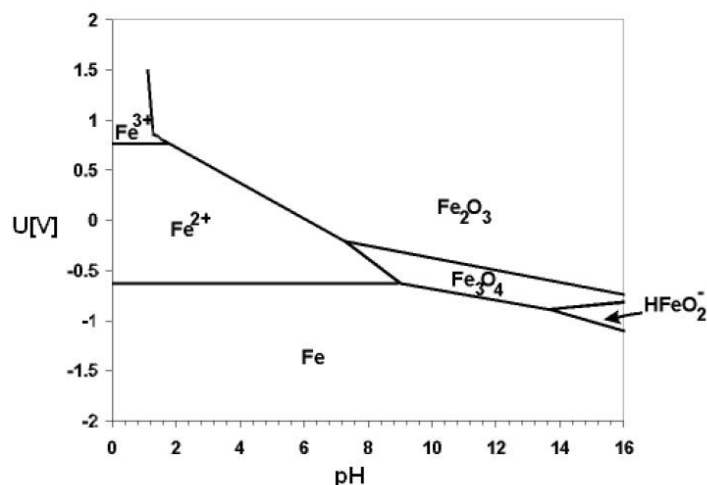


Z porovnání hodnot standardních redoxních potenciálů vyplývá, že se železo chová jako silné redukční činidlo, přičemž uvolněné elektrony přijme kyslík.



Obrázek 1: Schéma elektrochemické koroze železa [3]

V kapce vody umístěné na povrchu železa se rozpustí molekula kyslíku a proběhne poloreakce – redukce kyslíku na vodu. Vznikne lokální katoda, na kterou jsou dodány elektrony z poloreakce, která proběhne na lokální anodě. Obě elektrody jsou vodivě spojeny železem na straně jedné a roztokem na straně druhé. V kapičce vody vznikl lokální galvanický článek zodpovědný za korozi železa. V místě lokální anody pak koroze pokračuje do hloubky materiálu. Koroze železa, a tedy i ocelové výztuže v betonu, závisí na koncentraci hydroxidových iontů v okolí výztuže. Podle Pourbaixova diagramu (Obrázek 2), ocel nekoroduje, pokud je na ní záporné napětí  $< -600 \text{ mV}$ , při vyšším napětí je koroze závislá na pH. V rozmezí pH 9 až 13 se na povrchu oceli vytvářejí stálé a pevně lpící povlaky oxidů a hydroxidů, které brání přechodu atomů kovu do vyšších oxidačních stavů. Korozní rychlost je v tomto případě nižší než  $0,1 \text{ } \mu\text{m}$  za rok. Za stav, kdy výztuž nekoroduje se považuje průměrná rychlost 1 až  $2 \text{ } \mu\text{m}$  za rok. [3] [4]



Obrázek 2: Pourbaixův diagram [3] [5]

Korozi oceli v betonu lze popsat chemickými rovnicemi:

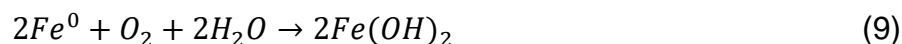
Anoda:



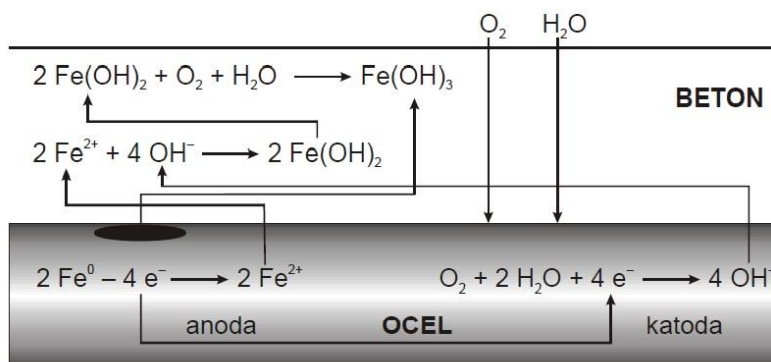
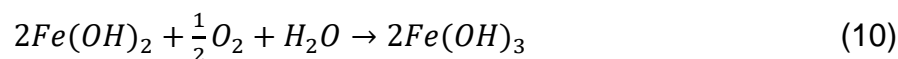
Katoda:



Sumární rovnice:



Následná oxidace:



Obrázek 3: Schéma koroze ocelové výztuže v betonu [3]

Rozhodující faktor pro korozi výztuže je přítomnost kyslíku a vlhkosti na katodě a její rychlost je řízena difúzí kyslíku a vlhkosti krycí vrstvou betonu. Korozi výztuže významnou měrou ovlivňují procesy v okolním betonu (krycí vrstvě), které vedou ke snížení koncentrace hydroxidových iontů. Jde zejména o působení kyselých plynů z atmosféry na cementový tmel betonu ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ).

Významnou měrou ovlivňuje korozi výztuže přítomnost vodou rozpustných chloridů, způsobující destrukci pasivační vrstvy na oceli. Chloridové ionty jsou pouze katalyzátorem reakce.

Chloridy způsobují korozi výztuže u silničních staveb, protože chlorid sodný, někdy chlorid vápenatý, se používají jako rozmrazovací prostředky při zimní údržbě komunikací. Přestože vozovky na mostech se nesmí ošetřovat chloridovými prostředky, jsou chloridy v betonu mostních konstrukcí nacházeny, a to vlivem aerosolu, který se při přejezdu vozidel nad silnicí tvoří a je unášen na mostní konstrukci.

Transport chloridových iontů k výztuži je difúzní proces. Je-li koncentrace chloridů na povrchu betonu vyšší než v jeho struktuře, pak koncentrační gradient vyvolává jejich tok do porézního materiálu difúzí.

V přítomnosti chloridů nebo jiných iontů v betonu výztuž koroduje i při vysokých hodnotách pH v závislosti na poměru daného iontu ke koncentraci hydroxidových iontů v pórovém roztoku, neplatí tedy Pourbaixův diagram. [3] [4]

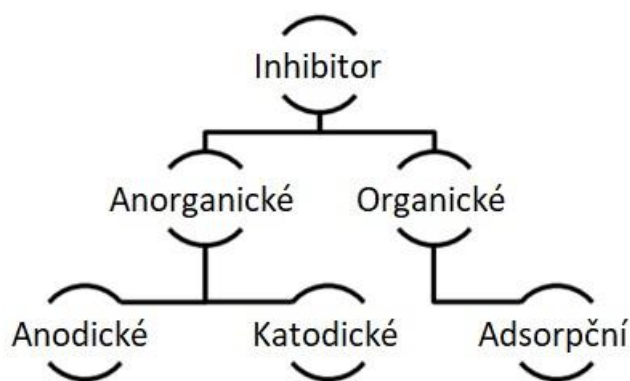
### **3.1.3. Koroze bludnými proudy**

Koroze bludnými proudy se vyskytuje na výztuži železobetonových konstrukcí, umístěných v blízkosti drah elektrizovaných stejnosměrným proudem (střídavý proud není z úvah o bludných proudech zcela vyloučen). Tam, kde se využívá kolejí jako zpětného vodiče, může docházet k přechodu proudu do okolního prostředí, pokud se toto prostředí chová jako elektrolyt (pórový roztok). Z elektrolytu pak teče stejnosměrný proud, který může dosahovat velmi vysoké intenzity, do výztuže, kde v místě vstupu rozhoduje o charakteru a rychlosti katodové reakce a v místě, kde se vrací do elektrolytu, je rozhodující pro anodickou reakci, tj. rozpouštění kovu. Tento proud je nazýván „bludným proudem“. [3] [4]



## 4. INHIBITORY KOROZE VÝZTUŽE

Korozní rychlost kovových materiálů lze ovlivnit úpravou prostředí, ve kterém korozní děj probíhá. Mezi tyto úpravy patří použití inhibitorů koroze kovů. Inhibitor koroze je chemické sloučenina, která přidaná v malé koncentraci do korozního prostředí snižují rychlost koroze. Působení inhibitorů je často úzce spjata s korozním systémem (kov – prostředí) a ovlivněno je jak koncentrací prostředí, tak i teplotou. Obvykle se používá směsí inhibitorů zvláště v systémech, kde je více kovů, případně aby se účinek různých druhů inhibitorů doplňoval a zesiloval. [7]



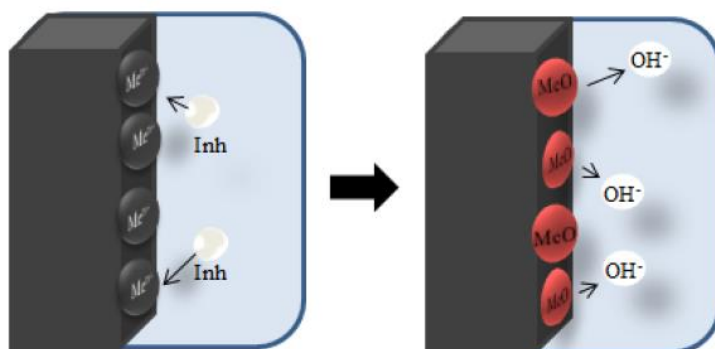
Obrázek 4: Rozdělení inhibitorů koroze [7]

### 4.1.1. Anorganické inhibitory

Inhibice koroze kovů a slitin v téměř neutrálních vodných roztocích lze dosáhnout použitím anorganických sloučenin. Klasifikovat anorganické inhibitory podle jejich mechanismu účinku lze na anodické a katodické. [7]

#### 4.1.1.1. Anodické inhibitory

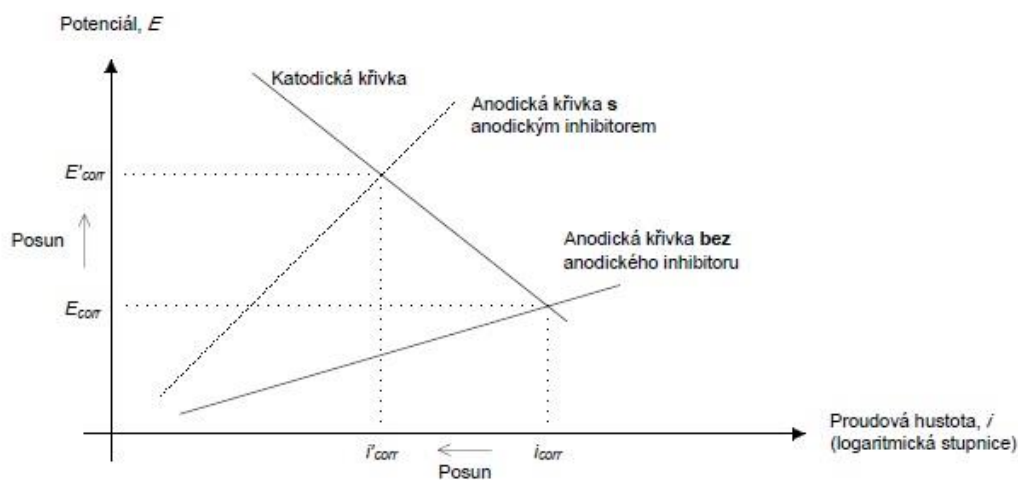
Anodické inhibitory (pasivační inhibitory) působí redukční anodickou reakcí to znamená, že snižují rychlost koroze v důsledku zpomalení anodických reakcí (snižují oxidační proces). Používají se převážně v neutrálních roztocích. Podporují přirozenou reakci pasivace kovového povrchu (přeměna železnatých iontů na železité ionty) vytvořením soudržného a nerozpustného filmu z adsorbovaného oxidu na anodických místech kovu. Vysrážený železitý produkt blokuje transport iontů do elektrolytu. Snížení efektivní plochy anody vede ke snížení rychlosti koroze. [7] [8] [9] [10]



Obrázek 5: Znázornění efektu a mechanismu anodického inhibitoru koroze [4]

Tyto látky musí být přítomny v dostatečném množství, neboť při poklesu koncentrace pod určitou hodnotu korozi naopak podporují a způsobují nerovnoměrné napadání povrchu. Mezi tyto inhibitory patří dusitany, benzoany, chromany, fosforečnany a křemičitany. [9]

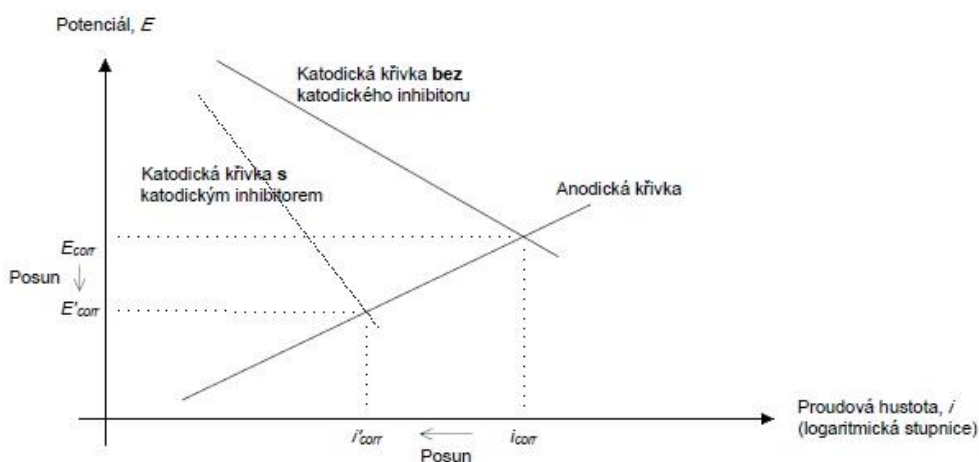
Obrázek 3 znázorňuje potenciostatický polarizační diagram chování roztoku s anodickým inhibitorem. Anodický inhibiční účinek zvýší elektrochemický potenciál kovu, který se posune do pasivační zóny. V důsledku toho se anodické i katodické křivky v diagramu proudového potenciálu protínají při vyšším korozním potenciálu a nižším korozním proudu. [9] [10]



Graf 1: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek anodického inhibitoru. ( $E_{corr}$  = korozní potenciál,  $i_{corr}$  = korozní rychlost) Přítomnost anodického inhibitoru způsobuje posun v korozním potenciálu a rychlosti koroze na  $E'_{corr}$  a  $i'_{corr}$ . Rychlost koroze je snížena, zatímco korozní potenciál se posune k vyšším (pozitivnějším) hodnotám. [10]

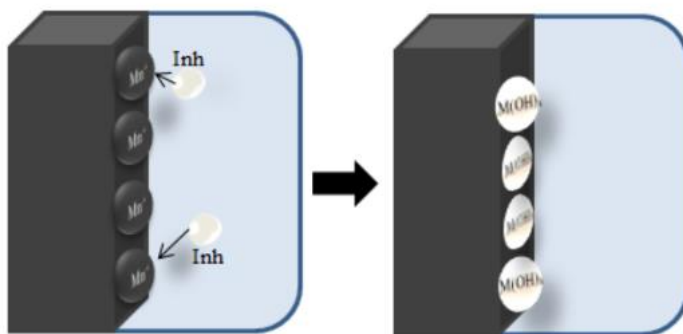
#### 4.1.2. Katodické inhibitory

Katodické inhibitory působí redukční katodickou reakcí to znamená, že snižují rychlost koroze v důsledku zpomalení katodických (depolarizačních) reakcí. Tyto inhibitory mají kovové ionty schopné vyvolat katodickou reakci v důsledku alkalinity, čímž vzniká nerozpustná sloučenina, která se ve formě bariérového filmu selektivně vysráží na katodických místech a snižuje tak transport kyslíku na povrch oceli. Snižením přívodu kyslíku v procesu koroze, se sníží korozní potenciál i rychlost koroze. Za normálních podmínek se snížením korozního potenciálu zvyšuje riziko koroze, v tomto případě tomu tak není. [9] [10]



Graf 2: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek anodického inhibitoru. ( $E_{corr}$  = korozní potenciál,  $i_{corr}$  = korozní rychlost) Přítomnost katodického inhibitoru způsobuje posun v korozním potenciálu a rychlosti koroze na  $E'_{corr}$  a  $i'_{corr}$ . Rychlost koroze je snížena, zatímco korozní potenciál se posune k nižším (více negativním) hodnotám. [10]

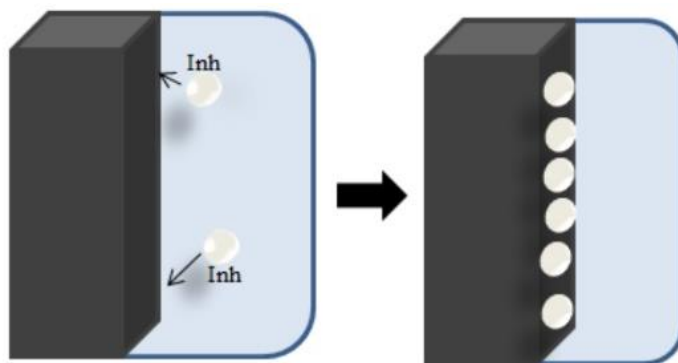
Některými příklady anorganických katodických inhibitorů jsou ionty hořčíku, zinku a niklu, které reagují s hydroxylovou skupinou  $\text{OH}^-$  ve vodě a tvoří nerozpustné hydroxidy  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  a  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Tyto vzniklé hydroxidy jsou uloženy na katodových místech kovového povrchu a chrání je. [7] [9] [10]



Obrázek 6: Znázornění efektu a mechanismu katodického inhibitoru koroze [9]

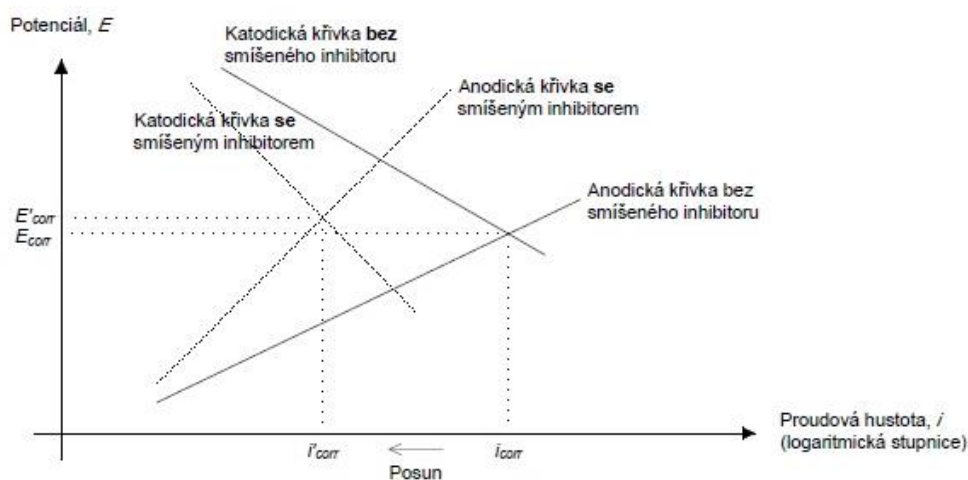
### 4.1.3. Organické inhibitory

Organické nebo také adsorpční inhibitory, jsou organické sloučeniny, používané jako inhibitory, potlačují jak anodické, tak katodické koroze. Zpravidla působí procesem povrchové adsorpce na celém povrchu oceli a jsou označovány jako „filmotvorné“. Tyto inhibitory vytvářejí na kovovém povrchu ochranný hydrofobní film z adsorbovaných molekul, který zabraňuje rozpouštění kovu v elektrolytu. Musí být rozpustné nebo dispergovatelné v prostředí obklopující kov a nesmí se smíchat s jinými smíšenými inhibitory. V současné době patří tato skupina inhibitorů k nejpoužívanějším. [7] [9] [10]



Obrázek 7: Znárodnění efektu a mechanismu organického inhibitoru [9]

Organické inhibitory zpomalují rychlost koroze bez významné změny korozního potenciálu. Korozní potenciál se může posunout na anodickou nebo katodickou stranu, v závislosti na tom, která reakce je nejvíce ovlivněna. Obecně je však celkový vliv na korozní potenciál zanedbatelný. Účinné smíšené inhibitory se vyskytují mezi organickými látkami s polárními skupinami obsahující dusík (N), síru (S) a hydroxidy (OH). Organické sloučeniny, jako jsou aminy a alkanolaminy, se běžně používají jako smíšené inhibitory, ale i migrující inhibitory. [7] [9] [10]



Graf 3: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek organického inhibitoru. ( $E_{corr}$  = korozní potenciál,  $i_{corr}$  = korozní rychlost) Přítomnost organického inhibitoru způsobuje snížení rychlosti koroze ( $i'_{corr}$ ) a zanedbatelné zvýšení korozního potenciálu ( $E'_{corr}$ ). [10]

Účinnost organických inhibitorů závisí na několika faktorech – chemická struktura (velikost organické molekuly), délka uhlíkového řetězce, typ a počet vazebných atomů nebo skupin v molekule, povaha a náboj kovového povrchu, schopnost vrstvy být kompaktní nebo zesílená, schopnost vytvářet komplex s atomem, typ roztoku elektrolytu (dostatečná rozpustnost v prostředí). [9]

#### 4.1.4. Smíšené inhibitory

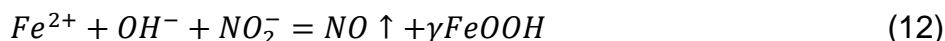
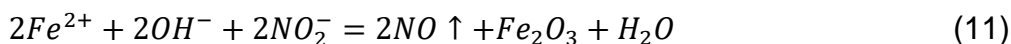
##### 4.1.4.1. Dusitany a dusičnany

Dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ) se chemicky liší od dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) v oxidačním stavu dusíku. Anorganické dusitany a dusičnany jsou anodické inhibitory, které jsou schopny pasivovat povrch oceli, i když je v betonu přítomen chlorid.

Inhibiční efekt dusitanů a dusičnanů je znám několik desetiletí. V 50 letech 20. stol. Byl zkoumán dusitan sodný pro použití do betonu. Tato látka však snižovala dlouhodobé pevnosti betonu, a proto byl v 70 letech představen dusitan vápenatý. Komerční příměsi na bázi dusitanu vápenatého urychlují hydrataci cementu, a proto se primárně používají jako urychlovače tuhnutí než jako inhibitory potlačující korozi výztuže. Před objevením dusitanu vápenatého bylo zjištěno, že dusičnany mají též inhibiční účinek. Na základě toho se vyráběli směsi dusitanů a dusičnanů, které bylo jednodušší vytvořit než např. čisté dusitany. Dusitany oproti dusičnanům mají jednu velkou nevýhodu, jsou toxické a nepříznivé pro životní prostředí, a proto jsou v Evropě velmi regulovány. [10]

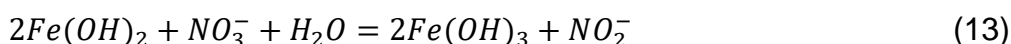
##### 4.1.4.1.1. Inhibiční účinek

Dusitanové ionty reagují s železnými ionty v alkalickém prostředí podle redoxních reakcí.



Železné ionty ( $\text{Fe}^{2+}$ ) jsou oxidovány na železité ionty ( $\text{Fe}^{3+}$ ), čímž se na povrchu oceli tvoří pasivační vrstva oxidu železitého, zatímco dusitan se redukuje na oxid dusnatý. Toxický oxid dusnatý se odpařuje.

Inhibiční vlastnost dusičnanů je spojena s jejich schopností snadno redukovat dusitany v alkalických roztocích. [10]



#### 4.1.4.2. Aminy a alkanolaminy

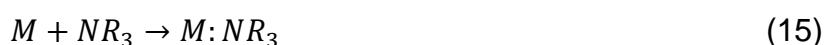
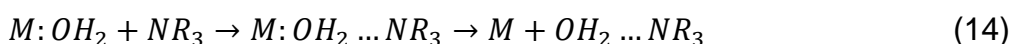
Aminy a alkanolaminy jsou organické bazické sloučeniny dusíku, jejichž inhibiční vlastnosti jsou popsány a patentovány již několik desetiletí, a to i pro ochranu oceli v betonu. Jejich soli se ve spojení s organickými a anorganickými kyselinami používají jako inhibitory do betonu.

Aminy a alkanolaminy obsahují zásaditý atom dusíku s volným elektronovým párem. Jsou to deriváty amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), ve kterých byl jeden nebo více atomů vodíku (H) nahrazen substituentem, jako je alkyl (R) v případě aminů a hydroxyalkyl ( $\text{R-OH}$ ) v případě alkanolaminů. [10]

##### 4.1.4.2.1. Inhibiční účinek

Inhibiční vlastnosti aminů a alkanolaminů jsou spojeny se schopností aminoskupin adsorbovat na kovy a oxidy kovů. Substráty kovu se váží na volný elektronový pár dusíkatého atomu aminů a alkanolaminů, čímž vytváří na povrchu ochranou vrstvu. Potlačují jak anodické, tak katodické reakce.

Aminoskupiny jsou schopné vytlačit molekuly vody na povrchu kovu a vytvářet hydrofobní film, který chrání proti korozi. Způsob účinku lze ilustrovat na terciálním aminu. Dusíkatý atom (N) v aminoskupině ( $\text{NR}_3$ ) je akceptor elektronu, který se může vázat k atomu vodíku (H) chemisorbované vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) na kovovém povrchu (M). Molekula vody se potom desorbuje a její místo bude nahrazeno jinou chemisorbovanou aminoskupinou. Adsorpční chování inhibitoru a doprovázející náhrada vody jsou považovány za hlavní faktory jeho ochranné vlastnosti. [10]



#### 4.1.4.3. Karboxylové kyseliny a jejich soli

Stejně jako aminoskupiny, karboxylové skupiny mají potenciál adsorbovat na kovový povrch, čímž vytvářejí na povrchu organickou vrstvu. Pokrývají celou řadu organických karboxylových látek tzn. látky charakteristické přítomností jedné nebo více karboxylových skupin ( $-\text{COOH}$ ), které poskytují protony. Karboxylový anion ( $-\text{COO}^-$ ) je funkční skupina zodpovědná za adsorpci na kovovém povrchu. Karboxylová adsorpce je ovlivněna přítomností skupin elektronových donorů a akceptorů. [10]

#### **4.1.4.3.1. Benzoan sodný**

Klasickým inhibitorem karboxylových kyselin je sodná sůl kyseliny benzoové ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ), která se po několik desetiletí používá na ochranu kovů v různých prostředích. Jedním z mnoha příkladů je benzoan sodný ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ ) + dusitanový inhibitor pro automobilové chladiče. Benzoan je nejčastěji řazen mezi anodické inhibitory, ale není oxidačním činidlem.

Mezi karboxylovými kyselinami, soli kyseliny benzoové jsou nejrozsáhleji prozkoumané látky pro ochranu oceli v betonu. Na počátku 70 let 20 století byl objeven inhibiční účinek u benzoanu sodného. Zastavuje korozi oceli v betonu, který obsahuje chloridy za předpokladu, že koncentrace inhibitoru je nad kritickou koncentrací. Na základě tohoto bylo také zjištěno, že dusitan sodný může chránit ocel při nižší kritické koncentraci. [10]

#### **4.1.4.3.2. Nové karboxylové inhibitory**

Na konci 20 století byly zkoumány alkalické soli alternativních kyselin. Bylo zjištěno, že kyselina malonová ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$ ), dikarboxylová kyselina, je velmi účinným inhibitorem koroze v betonu, dokonce i v přítomnosti chloridů do 2,5 % hm. Inhibiční účinnost malonátů je pravděpodobně spojena s jejich molekulovou strukturou, kde přítomnost dvou relativně blízkých karboxylových skupin umožňuje tvořit komplexy jak železné, tak železité v konkurenci s chloridy a pevně se spojit s ocelí. Z toho vyplývá, že malonátový iont je směsný inhibitor, který tvoří ochranný film na anodických i katodických místech. Malonová kyselina má jednu zásadní nevýhodu, má retardační účinek na portlandský cement.

Na základě elektrochemického měření a měření úbytku hmotnosti ocele vystavené alkalickým roztokům obsahujícím chloridy a výtažek z portlandského a popílkového cementu, bylo zjištěno, že účinným inhibitorem koroze je citrát sodný ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ). Do koncentrace chloridu 3 % hm. je citrát účinný. Mechanismus inhibice koroze je způsoben vytvořením stabilního filmu na kovovém povrchu chemisorpcí tzn. katodická i anodická část povrchu.

Podle výzkumu také soli alkalických kovů a amonné soli alkenyl-substituované kyseliny jantarové (kyselina butandiová) zlepšují ochranu proti korozi. [10]

#### 4.1.4.4. Sloučeniny fosforu

Sloučeniny fosforu vykazující inhibiční vlastnosti mohou být rozděleny do dvou skupin – fosfáty a monofluorofosfáty sodné. Monofluorofosfáty se nepoužívají jako směsné inhibitory, protože způsobují silnou retardaci betonu a mohou být přeměněny na nerozpustné sloučeniny. Místo toho jsou používány jako migrující inhibitory. Fosfáty používané jako směsné inhibitory také mohou způsobovat silnou retardaci betonu. Na trhu je možné objevit několik komerčních zpomalovačů, které obsahují fosfáty.

Fosfáty a polyfosfáty (fosfátové polymery, např. trifosfát sodný ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ )) jsou charakterizovány jako katodické inhibitory. Jejich způsob působení je závislý na poměru množství inhibitoru a chloridových iontů v elektrolytu. Některé studie ukázaly, že např. fosforečnan sodný ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) při nižším poměru působí jako katodický inhibitor, a naopak při vyšším poměru jako směsný inhibitor.

Začátkem 70 let 20 století byly zjištěny inhibiční vlastnosti u hydrogenfosforečnanu sodného ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ). Jeho schopnost zastavit chloridem vyvolanou korozi oceli v betonu závisí na obsahu fosfátů, který by měl být nad kritickou koncentrací. Kritická koncentrace závisí na koncentraci chloridů v betonu, typu použitého cementu a stavu povrchu oceli.

Nedávné studie ukázaly, že předběžná úprava oceli (ponoření do roztoku fosforečnanu ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )) před vystavením působení chloridů, je účinnější pro ochranu armatury než přidání fosforečnanu sodného do pórového systému betonu. Na základě dosavadních poznatků, nejde přesně určit mechanismus působení fosfátů. Někteří řadí fosfáty do skupiny katodických inhibitorů a jiní tvrdí, že fosfáty jsou schopné anodicky vytvářet pasivní vrstvu na povrchu oceli (anodické inhibitory). [10]

#### 4.1.4.5. Ostatní inhibitory

Směsné inhibitory, které jsou nejvíce studované a komercializované jsou uvedeny výše. Další látky, u kterých byly objeveny vlastnostmi inhibující korozi v betonu jsou uvedeny níže. [10]



#### **4.1.4.5.1. Chromáty**

Pro své inhibiční vlastnosti jsou známy chromátové soli, zejména chromát sodný a draselný. V poslední době byly zkoumány inhibitory na bázi chromátu v betonu. Chromáty jsou oxidačními činidly, tedy anodickými inhibitory. Ve vodě rozpustný chromát je dnes na základě své toxicity nepřipustný jako přísada do betonu. [10]

#### **4.1.4.5.2. Silikáty**

Více než 80 let byl používán k inhibici oceli křemičitan sodný (vodní sklo), nejčastěji uvnitř vodovodního potrubí. Ve vodě rozpustný křemičitan může působit v betonu jako katodický inhibitor. Na katodických místech povrchu kovu vytváří film vysráženého křemičitanu vápenatého. [10]

#### **4.1.4.5.3. Oxid zinečnatý**

Oxid zinečnatý (ZnO) je téměř nerozpustný ve vodě. Jako směsný inhibitor byl zkoušen, aby částečně nebo úplně nahradil dusitan. Nejlepšího inhibičního účinku bylo však dosaženo při smíchání ZnO a dusitanu ve stejných koncentracích. ZnO reaguje s alkalickým betonem za vzniku zinkátu vápenatého ( $\text{CaZn}(\text{OH})_4$ ), což způsobuje pasivaci ocelové výztuže. [10]

#### **4.1.4.5.4. Uracil**

Uracil je běžný a přirozeně se vyskytující derivát pyrimidinu. Jako účinný katodický inhibitor oceli v nasyceném roztoku  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  byl objeven 5-aminouracil, což je derivát uracilu se třemi atomy dusíku v aromatickém kruhu. [10]

#### **4.1.4.5.5. Sloučeniny cínu**

Při zkoušení sloučenin cínu v extrahovaném roztoku v pórech obyčejného cementu a popílkového cementu bylo nalezeno činidlo  $\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$ . Inhibiční účinek je způsoben vytvořením stabilního komplexního filmu chemisorpcí na kovovém povrchu. [10]

#### **4.1.4.5.6. Thiosemikarbazid**

Slibné vlastnosti inhibující korozi v alkalickém roztoku chloridu byly zjištěny u thiosemikarbazidu (jednoduchá molekula obsahující dusík a síru). [10]

#### 4.1.4.5.7. Benzotriazol

Benzotriazol je heterocyklická sloučenina, která je používána jako inhibitor koroze mědi a nerezové oceli a také tvoří vedlejší složku inhibitoru koroze pro ocel v betonu (hlavní složka inhibitoru koroze je karboxylová kyselina). Benzotriazol v betonu, který v pórech obsahuje roztok chloridů, zlepšuje odolnost proti korozi výztuže. Na základě několika studií by měl být účinnější než dusitany. [10]

## 5. STÁVAJÍCÍ INOVATIVNÍ SMĚR VÝVOJE INHIBITORŮ

### 5.1. Green inhibitors

Ekologie v současné době vyžaduje, aby inhibitory koroze byly netoxické a šetrné k životnímu prostředí. Termín *green inhibitors* nebo *eco-friendly inhibitors* se týká látek, které mají v přírodě biokompatibilitu. Inhibitory jako třeba rostlinné extrakty vykazují biologickou kompatibilitu vzhledem k jejich biologickému původu. Podobně jako u obecné klasifikace inhibitorů mohou být také *green inhibitors* rozděleny do dvou kategorií, organické a anorganické. [11] [12]

#### 5.1.1. Organické *green inhibitors*

Organickými *green inhibitors* jsou flavonoidy, alkaloidy a další přírodní produkty získané z přírodních zdrojů, jako jsou rostliny. Obsahují také syntetické sloučeniny se zanedbatelnou toxicitou. Pozoruhodnou částí vývoje *green inhibitors* jsou zejména rostlinné extrakty. [11] [12]

#### 5.1.2. Anorganické *green inhibitors*

Anorganické prvky nebo kovy hrají velkou roli v živých organismech. Tyto látky jsou přítomny ve stopových množstvích téměř ve všech potravinách. Vyšší koncentrace kovů způsobuje toxicitu všem formám života. Chromáty patří k nejčastějším látkám používaným jako inhibitory a antikorozi úprava hliníkových slitin. Tyto sloučeniny jsou však vysoce toxické a nebezpečné pro životní prostředí, a proto jsou v průmyslových odvětvích zakázána. Alternativou chromátů jsou lanthanidové soli, které vykazují vynikající protikorozi vlastnosti a jsou považovány za *green inhibitors*. [11] [12]

## 6. MIGRUJÍCÍ INHIBITORY (MCIs)

### 6.1. Obecný popis

Migrující inhibitory koroze jsou látky, které oddalují nástup koroze (rozpuštění výztuže), nezpůsobují změny struktury a neovlivňují vlastnosti betonu, prodlužují životnost nových i stávajících konstrukcí, nesnižují paropropustnost a jsou nehořlavé. Jedná se hlavně o směsi chemikálií, anorganických převážně však organických sloučenin.

Technologie migrujících inhibitorů koroze (MCIs) byla představena v polovině 80 let 20. století americkou firmou Cortec Corporation.

MCI se aplikuje na vnější povrch zatvrdlého betonu a inhibiční směs by měla proniknout do betonu a dostat se až k výztuži v dostatečně vysoké koncentraci, aby byla ocel chráněna před korozí. Společnost Cortec tvrdí, že MCI migrují třemi různými způsoby:

- Kapilární působení (Kapilární elevace) – beton svojí porézností umožní kapilární vztlínání inhibitor;
- Fáze páry (Difúze) – molekuly MCI se pohybují jako pára z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nízkou koncentrací, dokud nedosáhnou rovnováhy
- Iontová přitažlivost (Adsorpce) – molekuly MCI adsorbují na kovové povrchy a tvoří ochrannou vrstvu

Účinnost mechanismů migrace závisí složení materiálu, pH, pórovitosti, krycí vrstvě výztuže, obsahu vody, koncentraci rozpustnosti a těkavosti inhibitoru, koncentraci agresivních látek a teplotě prostředí. [10] [13]

### 6.2. Druhy MCIs

#### 6.2.1. Organické MCI

Organické migrující inhibitory jsou látky na bázi amin/alkanolaminových složek, zejména karboxylové sloučeniny. Ovlivňují anodické i katodické reakce vytvořením ochranného filmu na rozhraní betonu a oceli. Z tohoto důvodu jsou organické MCI též označovány jako smíšené.

min/alkanolamin tvoří hlavní těkavou složku MCI, která je transportována pórovým systémem převážně difúzí, zatímco karboxylové složky (ne všechny typy) reagují s hydroxidem vápenatým, vysráží se a blokují póry betonu. Vlastnost blokace pórů je považována za sekundární ochranný mechanismus proti korozi. Podle společnosti Cortec Corporation se molekula MCI adsorbuje na kovový povrch a vytváří ochranou molekulovou vrstvu, kde složka dusíku (amin) je zodpovědná za jeho spojení s kovovým povrchem, zatímco uhlovodíková (karboxylová) část vytváří hydrofobní vrstvu, která pomáhá odpudit vlhkost z oceli.

Většina chemických látek obsažených v těchto produktech jsou podobné jako u klasických smíšených inhibitorů. Jejich vývoj je založen na starších inhibitech, migrující ve formě páry, které se po desetiletí používaly k ochraně ocelových strojů a dílů, zejména při přepravě a uskladnění. [10] [13]

### **6.2.2. Anorganické MCI**

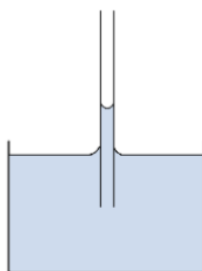
Výzkum technologie anorganických migrujících inhibitorů byl do současnosti prováděn hlavně na monofluorofosfátu sodném ( $\text{PO}_3\text{F}^{2-}$ ). Tato sloučenina byla používána, aby zabránila nebo alespoň snížila rychlost koroze více než 20 let.

Na betonový povrch se aplikuje ve formě vodného roztoku. Problémem u těchto látek je, že ionty  $\text{PO}_3\text{F}^{2-}$ , jež provádějí inhibiční účinek na povrchu oceli, nebudou přítomny v dostatečné koncentraci na povrchu oceli, protože budou reagovat s  $\text{Ca}^{2+}$  přítomným v pórové vodě.  $\text{PO}_3\text{F}^{2-}$  se touto reakcí sráží a hromadí v porézní soustavě, tzn. že elektrochemický proces na povrchu oceli nemůže proběhnout. I přesto však dokáže  $\text{PO}_3\text{F}^{2-}$  ocel nepřímo ochránit, blokováním průniku agresivních látek. Při nízké koncentraci rozpuštěného  $\text{Ca}^{2+}$  v pórovém systému může  $\text{PO}_3\text{F}^{2-}$  proniknout materiálem až k výztuži a působit jako inhibitor. [10] [13]

## 6.3. Princip migrace

### 6.3.1. Kapilární elevace

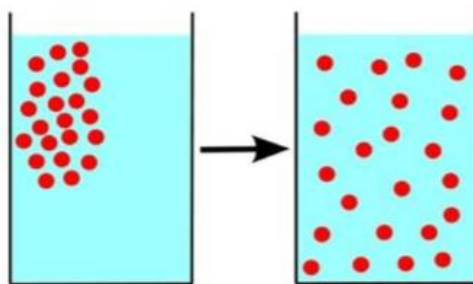
Kapilární elevaci (vzlínavost) lze definovat jako rozdíl výšky hladiny kapaliny v kapiláře oproti úrovni hladiny v okolí. Jedná se o tzv. kapilární jev, ke kterému dochází u většiny stavebních hmot. Důsledkem je zakřivení povrchu kapaliny (kapalina smáčí stěny stavební hmoty) a vznik kapilárního tlak. Když látka s pórovým systémem přijde do kontaktu s vodou dochází k nasávání vody. Rychlost kapilární elevace závisí stejně jako třeba u difúze na velikosti a tvaru pórů. Jemně pórovité materiály nasávají vodu do větších výšek než materiály s velkými póry, které nasávají vodu rychleji, ale výška vzlinutí není tak velká. Ve skutečnosti je výška vzlinutí nižší, než jak ji udává výpočet. Ten totiž neuvažuje odpařování vlhkosti z daného materiálu. Základním příkladem kapilární elevace je vzlínání zemní vlhkosti. [14]



Obrázek 8: Kapilární elevace [14]

### 6.3.2. Difúze

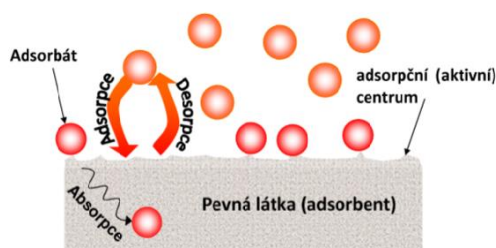
Všechny látky mají tendenci přecházet z prostředí se svou vyšší koncentrací do prostředí s nižší koncentrací, tedy ve směru koncentračního spádu. Pokud se částice mohou pohybovat, rozptylují se do celého prostoru, kterého mohou dosáhnout a postupně se ve všech částech snaží vyrovnat svoji koncentraci. Látky tak zvaně difundují. Difúze probíhá ve skupenství kapalném, plynném a pevném. Jedná se o důležitý jev, ke kterému dochází v chemických, fyzikálních i biologických procesech. Difúze je samovolné pronikání částic jedné látky mezi částice druhé látky a dokazuje neustálý a neuspořádaný pohyb částic. Na rychlost šíření částic má největší vliv velikost částic, vlastnosti a teplota prostředí. Čím vyšší teplota, tím vyšší rychlost pohybu částic. Proces difúze nespotřebovává žádnou energii. Díky nárazům neustále se pohybujících částic (atomy, molekuly) plynu nebo kapaliny se látka rozptyluje. Difúze tímto dokazuje existenci atomů a molekul. [15]



Obrázek 9: Princip difúze kapalin [15]

### 6.3.3. Adsorpce

Adsorpční síly působící mezi molekulou a povrchem pevné látky mohou dosahovat velmi rozdílných hodnot a mohou být způsobeny rozdílnými typy sil. Podle charakteru sil způsobujících adsorpční jev rozlišujeme dva základní druhy procesů – fyzikální adsorpci a chemickou adsorpci (chemisorpci). Síly způsobující fyzikální adsorpci jsou stejného druhu jako síly zodpovědné za kondenzaci par a existenci kondenzovaného stavu látek nebo za odchylky ve stavovém chování reálných plynů od ideálního stavového chování. Takové síly označujeme jako van der Waalsovy. Naproti tomu chemická adsorpce je způsobena interakcemi, jenž jsou zodpovědné za vznik chemických vazeb. [16]



Obrázek 10: Znázornění principu adsorpce [16]

#### 6.3.3.1. Fyzikální adsorpce

Fyzikální adsorpce je působena silami analogickými kohezním silám van der Waalsovým, jakými se vzájemně přitahují molekuly plynů a kapalin. Adsorbát je poután k povrchu poměrně slabé fyzikální síly (též hovoříme o van der Waalsově adsorpci), které se uplatňují jen na styčném povrchu s tuhou fází. Chemická povaha adsorbovaných molekul se nemění. [16]

#### 6.3.3.2. Chemická adsorpce

Při chemické adsorpci (chemisorpci) se oproti fyzikální adsorpci uplatňují síly chemické. Mezi molekulami adsorbátu a povrchem adsorbentu k výměně nebo sdílení elektronů. Vytvářející se vazba mezi adsorbentem a adsorbátem je mnohem pevnější, neboť se rovněž již podobá chemické vazbě. [16]

## **7. ZPŮSOBY DETEKCE INHIBITORŮ V CEMENTOVÉ MATRICI**

### **7.1. XRF – Rentgenová fluorescenční spektrometrie**

Principem metody je ionizace atomů vzorku primárním vysokoenergetickým rentgenovým zářením dopadajícím na analyzovaný vzorek. Při dopadu na vzorek dochází k vytržení elektronů z vnitřních slupek atomů (K, L, M, N) a k přeskočení elektronů z vyšších hladin na prázdná místa po uvolněných elektronech. Energetický rozdíl je vyzářen jako fluorescenční tok fotonů sekundárního rentgenového záření. XRF je tedy metoda založená na sledování sekundárního rentgenového záření a jejím výstupem je čárové spektrum, ve kterém je zobrazen počet pulsů za sekundu pro příslušné vlnové délky, nebo příslušné energie. Měřením spektrálních čar lze zjistit prvkové složení vzorku. Ke studiu absorpce rentgenového záření se používá speciálních spektrometrů. [17]

### **7.2. XPS – Rentgenová fotoelektronová spektroskopie**

Metoda zabývající se chemickým složením a elektronovou strukturou pevných látek. Podstatou je fotoelektrický jev. Vzorek je ozařován rentgenovým zářením, což způsobuje emitování fotoelektronů z povrchu vzorku, které postupují z místa emise do různých směrů. Fotoelektrony na své cestě podstupují srážky s atomy ve vzorku, které jsou nepružné i pružné (nepružná – fotoelektron nemění směr, ale ztrácí svoji energii; pružná – fotoelektron mění směr, ale nemění energii). Některé fotoelektrony opustí vzorek a jsou detekovány v příslušném směru energiovým analyzátozem, který měří intenzitu fotoelektronů v závislosti na jejich kinetické energii. Analytickým výstupem metody XPS je fotoelektronové spektrum – závislost intenzity na energii. Pomocí tzv. „píků“ (spektrální čáry), které jsou ve spektru tvořeny fotoelektrony z různých hladin atomů, lze zjistit relativní koncentraci prvků a sloučenin, které jsou ve vzorku obsaženy. Metoda XPS je nedestruktivní, což je považováno za velkou výhodu, protože zkoumaný prvek lze použít pro další analýzu. [18] [19] [20]

### **7.3. FTIR – Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací**

Infračervená spektroskopie je používána k identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a anorganických látek. Metoda je založena na absorpci infračerveného záření, které prochází vzorkem a při němž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly. Změnu vibračního stavu je možné popsat jako zvětšení amplitudy vibrace dané molekuly a změnu rotačního stavu lze chápat jako zrychlení rotace molekuly. Tento proces je způsoben na základě existence chemické vazby mezi atomy, která je pružná a dochází díky ní k vibracím. Grafickým znázorněním je infračervené spektrum, které zobrazuje funkční závislost energie vyjádřenou v procentech transmitance nebo jednotkách absorpce na vlnové délce dopadajícího záření. Pro identifikaci se používají FTIR spektrometry pracující na principu interference spektra, tzn. že měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Základem těchto přístrojů je Michelsonův interferometr. [8] [21] [22]



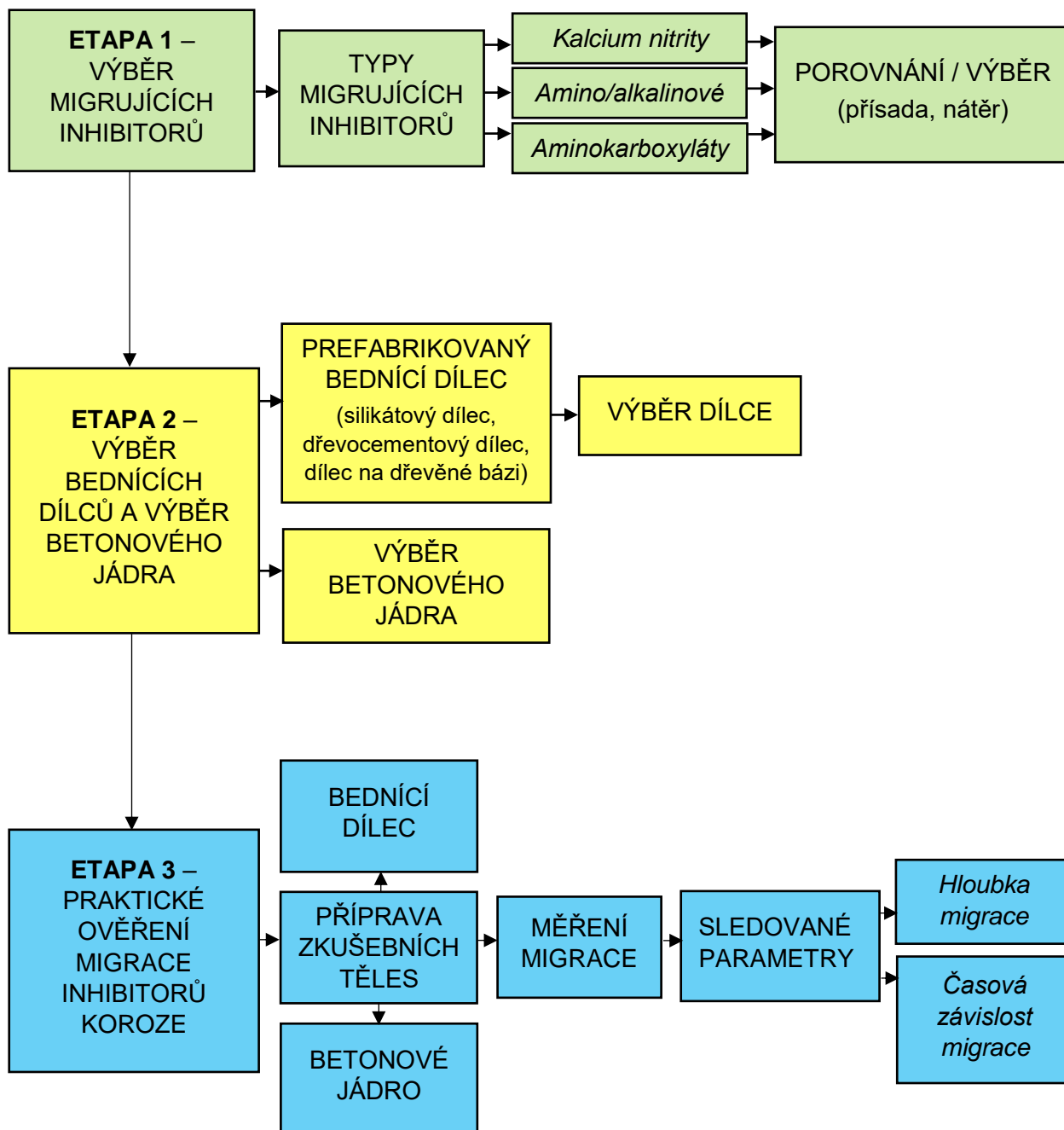
## 8. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověření chování nového progresivního bednicího systému, který by zvyšoval ochranu proti korozi ocelové výztuže. Bude se jednat o silikátový, dřevocementový a dřevěný bednicí dílec s obsahem migrujícího inhibitoru koroze, který bude převážně sloužit jako preventivní opatření při výstavbě konstrukcí, u kterých je zvýšené riziko koroze ocelové výztuže způsobené účinky korozivních vlivů. Nově navržený bednicí dílec bude po betonáži postupně uvolňovat migrující inhibitor koroze, který na základě kapilárních jevů bude pronikat do struktury výplňového železobetonu a zde zpomalí nebo dokonce zastaví probíhající korozi ocelové výztuže. Tento efekt bude mít výrazný vliv na prodloužení životnosti celé konstrukce.

Záměrem práce bude na základě vypracovaného průzkumu komerčně dostupných migračních inhibitorů koroze vybrat vhodný inhibitor a aplikovat jej na vybrané bednicí dílce. Bednicí dílce budou vyplněny betonovou směsí o různém složení, aby bylo možné sledovat vliv pórovitosti a nasákavosti na migraci inhibitoru koroze k výztuži. Na takto připravených zkušebních dílcích bude ověřena účinnost migrujícího inhibitoru koroze, respektive bude pozorována míra penetrace v různém časovém intervalu.

## 9. METODIKA PRÁCE

Praktická část bakalářské práce bude rozdělena do následujících 3 etap:



## **ETAPA 1 – VÝBĚR MIGRUJÍCÍCH INHIBITORŮ**

První etapa praktické části se bude věnovat analýze jednotlivých druhů migrujících inhibitorů koroze. Bude provedena optimalizace parametrů, které by měly inhibitory splňovat, důraz bude především kladen na účinek migrace pórovým systémem bednicího dílce z různého materiálového složení. Na základě analýzy a parametrů bude vybrán vhodný migrující inhibitor koroze, kdy se bude rozhodovat o výběru mezi inhibitorem formou přísady do čerstvé směsi nebo ve formě povrchového nátěru.

## **ETAPA 2 – VÝBĚR BEDNÍCÍCH DÍLCŮ A VÝBĚR BETONOVÉHO JÁDRA**

Cílem druhé etapy praktické části bude výběr vhodných prefabrikovaných bednicích dílců pro aplikaci migrujícího inhibitoru koroze. Bednicí dílce budou vybrány na základě porovnání zjištěných parametrů, které by měly mít největší vliv na migraci inhibitoru pórovým systémem. Bude popsán vliv materiálového složení betonového jádra na případnou migraci inhibitoru.

## **ETAPA 3 – PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ MIGRACE INHIBITORŮ KOROZE**

V závěrečné etapě budou připravena zkušební tělesa z prefabrikovaných bednicích dílců a podle vybrané receptury vyrobena zkušební betonové jádro. Na bednicích dílcích a betonovém jádru budou provedeny základní zkoušky ověřující jejich vlastnosti. Dále budou zkušební dílce a betonové jádro ošetřeny migrujícím inhibitorem koroze. Bude měřena hloubka průniku migrace v přesně stanovených časových intervalech. Výstupem bakalářské práce bude porovnání dosažených výsledků měření.

## 10. ETAPA 1 – VÝBĚR MIGRUJÍCÍCH INHIBITORŮ

Inhibitory koroze lze principiálně rozdělit na inhibitory aplikované jako přísada do čerstvé směsi nebo jako nátěr přímo na výztuž či betonový povrch. Dominantním aspektem je sledování migrace inhibitoru koroze pro dosažení nepřímé ochrany výztuže. Většina běžně používaných komerčních migrujících inhibitorů koroze jsou CNI inhibitory (kalcium nitridy,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) a inhibitory na amino/alkanolaminové a karboxylové bázi (aminokarboxyláty). Na základě zadání bude z těchto komerčních migrujících inhibitorů koroze multikriteriálním posouzením vybrán inhibitor.

### 10.1. Migrující inhibitory koroze – přísada do čerstvé směsi

#### 10.1.1. SIKA FerroGard 901

Sika FerroGard 901 je tekutá přísada na bázi organických a anorganických sloučenin dusíku (aminoalkoholy) pro železobeton a maltu. Působí jako ochrana před korozí pro ocelovou výztuž zalitou v betonu, dokonce chrání výztuž před korozí zapříčiněnou chloridy. Použitím této přísady se zvyšuje životnost exponovaných částí staveb. Ovlivňuje elektrochemický funkční průběh dílčí anodické a katodické reakce. Působí jednak vytvořením filmu na povrchu oceli (katoda) a zabraňuje rozpouštění kovu vytvořením obtížně rozpustných kovů (anoda). [23]

Tabulka 1: Technická data přísady do betonu SIKA FerroGard 901 [23]

<b>Vzhled</b>	Zelená kapalina
<b>Chemická báze</b>	2-dimethylethanolamin (5-10 %)
<b>Balení</b>	25 kg, 180 kg
<b>Skladovatelnost</b>	12 měsíců, chránit před mrazem a slunečním zářením
<b>Objemová hmotnost</b>	1,06 kg/l
<b>pH</b>	10±1,0
<b>Dávkování</b>	3,0-4,0 % hmotnosti cementu
<b>Cena</b>	125 Kč/kg

### 10.1.2. BASF MasterLife CI 222

MasterLife CI 222 je patentovaná přísada proti korozi výztuže v železobetonu, kterou lze použít i pro předpjatý beton. Poskytuje dvě úrovně ochrany proti korozi. Zabraňuje korozi na nejkritičtějších místech, snižuje rychlost, jakou chloridy a vlhkost vstupují do betonu. Adsorbují se na povrch výztuže, kde vytváří vrstvu ochranného filmu. zvyšuje odolnost proti síranům. Může ovlivnit výsledné pevnosti zatvrdlého betonu o 5 až 10 %. [24]

Tabulka 2: Technická data přísady do betonu BASF MasterLife CI 222 [24]

<b>Vzhled</b>	Bílá kapalina
<b>Chemická báze</b>	2-aminoethanol (10-30 %)
<b>Balení</b>	199 l
<b>Skladovatelnost</b>	9 měsíců, teplota 2-52 °C, chránit před mrazem
<b>Objemová hmotnost</b>	0,98-0,99 kg/l
<b>pH</b>	11,0-11,6
<b>Dávkování</b>	5 l/m <sup>3</sup>
<b>Cena</b>	Cena na vyžádání

### 10.1.3. BASF MasterLife CI 30

MasterLife CI 30 je přísada na bázi dusitanu vápenatého zpomalující korozi opětovnou pasivací povrchu výztuže. Dusitanové ionty obklopují poškozené ionty oxidu železnatého a přeměňují je na stabilnější druhy železitých iontů, které jsou méně náchylné ke korozi. Směs obsahuje minimálně 30 % aktivních složek. Používá se pro stavby, které vyžadují ochranu proti korozi způsobenou chloridy z rozmrazovacích solí nebo působením mořských vlivů. Urychluje tuhnutí betonu, což může být vhodné pro aplikace při nižších teplotách. [25]

Tabulka 3: Technická data přísady do betonu BASF MasterLife CI 30 [25]

<b>Vzhled</b>	Žlutá kapalina
<b>Chemická báze</b>	Vodný roztok na bázi anorganických solí Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1-5 %), Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (15-40 %)
<b>Balení</b>	208 l, 1040 l
<b>Skladovatelnost</b>	6 měsíců, teplota -12-38 °C
<b>Objemová hmotnost</b>	1,29 kg/l
<b>pH</b>	7-12
<b>Dávkování</b>	5-30 l/m <sup>3</sup>
<b>Cena</b>	Cena na vyžádání

#### 10.1.4. W.R. Grace & Co. – DCI

DCI je tekutá přísada do betonu obsahující dusičnan vápenatý, který se usazuje na vyztužovací oceli a vytváří na jejím povrchu chemickou bariéru. Tato bariéra zpomaluje nástup koroze a zabraňuje zrychlení koroze po jeho spuštění. V dostatečném množství udržuje DCI v betonové matici aktivní systém řízení koroze po celou dobu životnosti konstrukce. Slouží hlavně pro ochranu konstrukcí, které přicházejí do kontaktu s chloridy z rozmrazovacích solí nebo mořským prostředím. Urychluje tuhnutí betonu. [26]

Tabulka 4: Technická data přísady do betonu W.R. Grace & Co. – DCI [26]

<b>Vzhled</b>	Světle žlutá, čirá tekutina, lehce sladká vůně
<b>Chemická báze</b>	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (1-10 %), $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (25-50 %)
<b>Balení</b>	208 l
<b>Skladovatelnost</b>	<i>Výrobce neuvedeno</i>
<b>Objemová hmotnost</b>	1,2-1,3 kg/l
<b>pH</b>	8,0-9,5
<b>Dávkování</b>	10-30 l/m <sup>3</sup>
<b>Cena</b>	<i>Cena na vyžádání</i>

#### 10.1.5. W.R. Grace & Co. – DCI-S

DCI S je kapalná přísada do betonu, která chemicky inhibuje korozní účinek chloridů na vyztužné oceli. Nabízí ochranu proti korozi rovnající se přísadě DCI. Byl navržený pro aplikace, při níž nejsou potřebné rychlé nárůsty pevností. Je slučitelný se všemi typy portlandských cementů a betony obsahující pucolány. Používá se hlavně pro stavby, které přicházejí do kontaktu s chloridy z rozmrazovacích solí nebo mořským prostředím. [27]

Tabulka 5: Technická data přísady do betonu W.R. Grace & Co. – DCI-S [27]

<b>Vzhled</b>	Světle hnědá, čirá kapalina, mírně sladký zápach
<b>Chemická báze</b>	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (1-2 %), $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (25-50 %)
<b>Balení</b>	205 l
<b>Skladovatelnost</b>	12 měsíců od data výroby
<b>Objemová hmotnost</b>	1,2-1,3 kg/l
<b>pH</b>	8,0-9,5
<b>Dávkování</b>	10-30 l/m <sup>3</sup>
<b>Cena</b>	<i>Cena na vyžádání</i>

### 10.1.6. EUCLID CHEMICAL Eucon CIA

Eucon CIA je přísada na bázi dusičnanu vápenatého určená k potlačení koroze ocelové výztuže. Urychluje tuhnutí beton a má malý vliv na konzistenci betonu. Potřebné množství pro ochranu proti korozi závisí na koncentraci chloridů. [28]

Tabulka 6: Technická data přísady do betonu EUCLID CHEMICAL Eucon CIA [28]

<b>Vzhled</b>	Žlutá kapalina
<b>Chemická báze</b>	$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (> 60.0 %), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (3-7 %)
<b>Balení</b>	208 l, 1041 l
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců
<b>Objemová hmotnost</b>	1,3 kg/l
<b>pH</b>	7,5-10,5
<b>Dávkování</b>	Doporučeno 10-30 l/m <sup>3</sup> , podle koncentrace chloridů
<b>Cena</b>	Cena na vyžádání

### 10.1.7. EUCLID CHEMICAL Eucon BCN

Eucon CNB je přísada na bázi dusičnanu vápenatého určená k potlačení koroze ocelové výztuže. Je kompatibilní se všemi typy portlandských cementů, betony a betony obsahujících pucolány. Může být použit v betonových směsích s jinými přísadami, včetně přísad pro přívod vzduchu, vodu redukující, zpomalovačů, superplastifikátorů, popílků a strusek. Každá přísada však musí být přidána samostatně do betonové směsi. Má jen nepatrný vliv na konzistenci betonu. Může snižovat množství vzduchu v betonové směsi. Urychluje tuhnutí betonu. [29]

Tabulka 7: Technická data přísady do betonu EUCLID CHEMICAL Eucon BCN [29]

<b>Vzhled</b>	Světle žlutá kapalina
<b>Chemická báze</b>	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (5-10 %)
<b>Balení</b>	208 l, 1041 l
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců
<b>Objemová hmotnost</b>	1,3 kg/l
<b>pH</b>	8,0-10,0
<b>Dávkování</b>	Doporučeno 10-30 l/m <sup>3</sup> , podle koncentrace chloridů
<b>Cena</b>	Cena na vyžádání

### 10.1.8. BETOSAN Armoguard P

Armoguard P je tekutá přísada používaná jako migrující inhibitor určený do betonu, sanačních malt a železobetonu. Poskytuje dlouhodobou ochranu proti korozi ocelových výztuží uložených v betonu, zejména zabraňuje škodlivému působení chloridů, ale i dalším vlivům. Nesnižuje paropropustnost, neovlivňuje mechanické vlastnosti betonu a nemění strukturu betonu. [30]

Tabulka 8: Technická data přísady do betonu BETOSAN Armoguard P [30]

<b>Vzhled</b>	Bezbarvá kapalina
<b>Chemická báze</b>	2-aminoethanol (5 %)
<b>Balení</b>	10 kg
<b>Skladovatelnost</b>	12 měsíců, teplota 5-40 °C, chránit před mrazem
<b>Objemová hmotnost</b>	1,03 kg/l
<b>pH</b>	10,4±0,5
<b>Dávkování</b>	2,5-4,0 % hmotnosti cementu
<b>Cena</b>	400 Kč/kg

### 10.1.9. CORTEC MCI 2006 NS

MCI 2006NS je prášková přísada do betonu, která chrání anodické i katodické oblasti ocelové výztuže zabudované do betonu před korozí vyvolanou karbonatací, chloridy a atmosférickými vlivy. Vytváří ochrannou vrstvu na povrchu kovu. Neobsahuje dusitany, není toxický a je šetrný k životnímu prostředí. [31]

Tabulka 9: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2006 NS [31]

<b>Vzhled</b>	Šedobílý prášek
<b>Chemická báze</b>	Aminokarboxyláty
<b>Balení</b>	2,3 kg, 22,7 kg, 45,4 kg
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců
<b>Objemová hmotnost</b>	Výrobce neuvedeno
<b>pH</b>	11,5-13,0
<b>Dávkování</b>	0,6 kg/m <sup>3</sup>
<b>Cena</b>	1180 Kč/kg



### 10.1.10. Zhodnocení migrujících inhibitorů koroze – přísada do čerstvé směsi

Z níže uvedeného souhrnu dle jednotlivých výrobců uváděných parametrů přísad do betonu (Tabulka 10), které mají inhibiční účinek, nelze provést multikriteriální vyhodnocení s ohledem na různou chemickou bázi, různý způsob dávkování (hmotnostně nebo objemově). Při průzkumu cenové hladiny těchto přísad byla její výše zjištěna v intervalu 120 až 1200 Kč/kg. Účinnost těchto přísad není dostupná, musela by být ověřena na základě dlouhodobých výsledků. Z výše uvedených skutečností nebude s inhibitory ve formě přísady do betonu dále v práci uvažováno.

Tabulka 10: Komerčně dostupné migrující inhibitory koroze (přísada do čerstvé směsi) – parametry

Výrobce	Název	Chemická báze – účinná látka	Dávkování
<b>SIKA</b>	FerroGard 901	2-dimethylethanolamin (5-10 %)	3,0-4,0 % hm. cementu
<b>BASF</b>	MasterLife CI 222	2-aminoethanol (10-30 %)	5 l/m <sup>3</sup>
	MasterLife CI 30	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1-5 %), Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (15-40 %)	5-30 l/m <sup>3</sup>
<b>W.R. Grace &amp; Co.</b>	DCI	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1-10 %), Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (25-50 %)	10-30 l/m <sup>3</sup>
	DCI-S	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1-2 %), Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (25-50 %)	10-30 l/m <sup>3</sup>
<b>EUCLID Chemical</b>	Eucon CIA	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (3-7 %), Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (> 60 %)	10-30 l/m <sup>3</sup>
	Eucon BCN	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (5-10 %)	10-30 l/m <sup>3</sup>
<b>BETOSAN</b>	Armoguard P	2-aminoethanol (5 %)	2,5-4,0 % hm. cementu
<b>CORTEC</b>	MCI 2006NS	Aminokarboxyláty	0,6 kg/m <sup>3</sup>

## 10.2. Migrující inhibitory koroze – ve formě nátěru

### 10.2.1. DRIZORO Maxrite Inhibitor

Maxrite Inhibitor je migrující inhibitor koroze ve formě kapaliny, který se aplikuje impregnací přímo na betonový povrch z důvodu antikorozní ochrany proti vlivům mořského prostředí, chloridům, rozmrazovacím solím, průmyslovému prostředí apod. Má dvojitý účinek, chrání jak anodickou oblast oceli, tak i katodickou. Po aplikaci penetrují aktivní složky do betonu difúzí pár a kapaliny skrz kapilární síť, až dosáhnou výztuže, kde vytváří ochrannou bariéru. Nemění povrchovou úpravu ošetřované plochy a je šetrný k životnímu prostředí. [32]

Tabulka 11: Technická data přísady do betonu DRIZORO Maxrite Inhibitor [32]

<b>Vzhled</b>	Bezbarvá kapalina
<b>Chemická báze</b>	Aminoalkoholy a aminokarboxyláty
<b>Balení</b>	5 kg, 25 kg
<b>Skladovatelnost</b>	12 měsíců, teplota nad 5 °C
<b>Objemová hmotnost</b>	1,01±0,1 kg/l
<b>pH</b>	11,0-14,0
<b>Migrace</b>	10 mm za 2 dny, 60 mm za 56 dní
<b>Cena</b>	166 Kč/kg

### 10.2.2. Sika FerroGard 903 Plus

Sika FerroGard 903 Plus je povrchově aplikovaný inhibitor koroze na bázi organických sloučenin, navržený jako antikorozní impregnace pro železobeton chránící jak anodickou tak katodickou oblast, kde betonářská ocel koroduje nebo je možnost nebezpečí vzniku koroze vlivem zkarbonatovaného nebo chloridem kontaminovaného betonu. Proniká betonem a ulpívá na povrchu ocelové výztuže. Nemění vzhled betonové konstrukce a nemá vliv na paropropustnost vodních par. [33]

Tabulka 12: Technická data přísady do betonu Sika FerroGuard 903 Plus [33]

<b>Vzhled</b>	Transparentní kapalina, bezbarvá až mírně nažloutlá
<b>Chemická báze</b>	Vodný roztok aminoalkoholů a solí aminoalkoholů (2-aminoethanol 2.5-10.0 %)
<b>Balení</b>	25 kg, 220 kg
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců
<b>Objemová hmotnost</b>	1,05 kg/l
<b>pH</b>	10
<b>Migrace</b>	25-40 mm za 1 až 2 měsíce
<b>Cena</b>	148 Kč/kg

### 10.2.3. CORTEC MCI 2020

MCI 2020 je organický inhibitor koroze. Je považován za smíšený inhibitor, což znamená, že chrání anodické i katodické oblasti. Obsahuje synergickou směs aminoalkoholů a solí karboxylových kyselin, která vytváří ochrannou vrstvu na vložené výztuži, zpomaluje nástup koroze a snižuje stávající stav koroze.

MCI 2020 je navržen tak, aby pronikl přes cementové materiály včetně betonu a malty. Migruje pórovou strukturou jak v kapalně, tak v plynné fázi. Vytváří ochranou molekulovou vrstvu na povrchu oceli. Zajišťuje protikorozi ochranu proti karbonataci, chloridům a dalším znečišťujícím látkám. [34]

Tabulka 13: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2020 [34]

<b>Vzhled</b>	Jasná až mírně zakalená jantarová kapalina
<b>Chemická báze</b>	Aminokarboxyláty
<b>Balení</b>	Balení 19 l, 208 l, 1040 l
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců, teplota 0-60 °C, chránit před mrazem
<b>Objemová hmotnost</b>	1,03-1,05 kg/l
<b>pH</b>	9,0-9,5
<b>Migrace</b>	76 mm za 30 dní
<b>Cena</b>	460 Kč/kg

### 10.2.4. CORTEC MCI 2021

MCI 2021 je beton těsnící prostředek, který vytváří na ocelové výztuži ochrannou vrstvu. Kombinuje směs reaktivních silikátů, povrchově aktivních látek a osvědčený inhibitor snižující korozi (Cortec MCI). MCI 2021 chrání beton tím, že pracuje s chemií betonu. Reaktivní křemičitany reagují s vápníkem. Reakční produkty vytvářejí v betonu silikátové struktury. Nová struktura utěsňuje povrchové póry a vytváří vodu odpuzující povrch, který zabraňuje karbonataci a dalšímu vniknutí chloridů. [35]

Tabulka 14: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2021 [35]

<b>Vzhled</b>	Lehce zakalená bílá kapalina
<b>Chemická báze</b>	Aminokarboxyláty a soli karboxylových kyselin (3-5 % účinné látky)
<b>Balení</b>	Balení 19 l, 208 l
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců
<b>Objemová hmotnost</b>	1,08-1,09 kg/l
<b>pH</b>	11,0-12,0
<b>Migrace</b>	37,5 mm
<b>Cena</b>	Cena na vyžádání

### 10.2.5. BASF MasterProtect 8000 CI

MasterProtect 8000 CI je nízkoviskózní jednosložkový inhibitor koroze, který funguje na molekulární bázi, efektivní makroinhibice (mezi výztužnými prvky) i mikroinhibice (v jednotlivých výztužných prvcích). Kombinuje vysoce penetrační schopnost silanové složky s organofunkčním inhibitorem koroze, zabraňujícím pronikání vlhkosti a chloridových iontů. Razantně přeruší tok elektrolytického proudu a přeruší tak korozivní cyklus probíhající mezi různými betonovými směsmi (tzv. efekt kruhové anody). [36]

Tabulka 15: Technická data přísady do betonu BASF MasterProtect 8000 CI [36]

<b>Vzhled</b>	Čirá kapalina
<b>Chemická báze</b>	Emulze na bázi polysiloxanu 2-diethylaminoethanol (<3 %)
<b>Balení</b>	28 l, 205 l, 1000 l
<b>Skladovatelnost</b>	12 měsíců, teplota -15-+50 °C, mimo dosah ohně
<b>Objemová hmotnost</b>	10,88 kg/l
<b>pH</b>	11,0
<b>Migrace</b>	≥10 mm
<b>Cena</b>	850 Kč/l

### 10.2.6. FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020

Cemprotec MCI 2020 je organický inhibitor na vodní bázi na ošetření stávajících betonových konstrukcí. Na základě časem prokázané technologie zabraňující korozi, byl speciálně navržen tak, aby prostupoval do betonu, difúzí kapaliny a par. Na povrchu výztuže vytvoří ochrannou monomolekulární vrstvu, která pomáhá snížit korozi jak v anodě, tak v katodě. Neohrožuje volný průchod vodní páry a má minimální vliv na vzhled povrchu. Je nejefektivnější, když se používá společně se sanačními a ochrannými systémy Flexcrete na ochranu oceli, v agresivním prostředí s vysokým obsahem chloridů, jako jsou dálniční stavby a stavby na mořském pobřeží. [37]

Tabulka 16: Technická data přísady do betonu FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020 [37]

<b>Vzhled</b>	Čirá jantarová kapalina
<b>Chemická báze</b>	Roztok aminových solí a aditiv
<b>Balení</b>	25 l
<b>Skladovatelnost</b>	24 měsíců, v suchu, chránit před mrazem a horkem.
<b>Objemová hmotnost</b>	1,03-1,05 kg/l
<b>pH</b>	9,0-9,5
<b>Migrace</b>	Výrobce uvedeno
<b>Cena</b>	1290 Kč/l

### 10.2.7. Zhodnocení migrujících inhibitorů – ve formě nátěru

Za účelem výběru ideálního migrujícího inhibitoru koroze v aplikační formě nátěrem byla pro zhodnocení použita Fullerova vícekriteriální metoda.

Tabulka 17: Komerčně dostupné migrující inhibitory koroze (nátěr) – parametry

Výrobce	Název	Chemické báze – účinná látka	pH	Spotřeba	Hloubka migrace	Cena
DRIZORO	Maxrite Inhibitor	Aminoalkoholy a aminokarboxyláty	11-14	0,5 l/m <sup>2</sup>	10-60 mm 2-56 dní	166 Kč/l
SIKA	FerroGard 903 Plus	Vodný roztok aminoalkoholů a solí aminoalkoholů 2-aminoethanol (2,5-10 %)	10	0,5 l/m <sup>2</sup>	25-40 mm 30-60 dní	148 Kč/l
CORTEC	MCI 2020	Aminokarboxyláty	9-9,5	3,68-7,36 l/m <sup>2</sup>	76 mm 30 dní	460 Kč/l
	MCI 2021	Aminokarboxyláty a soli karboxylových kyselin	11-12	3,7-6,1 l/m <sup>2</sup>	37,5 mm	-
BASF	MasterProtect 8000 CI	Emulze na bázi polysiloxanu 2-diethylaminoethanol (< 3 %)	11	0,3 l/m <sup>2</sup>	≥10 mm	850 Kč/l
FLEXCRETE	Cemprotec MCI 2020	Roztok aminových solí a aditiv	9-9,5	3,68 l/m <sup>2</sup>	-	1290 Kč/l

Jako posuzovaná kritéria byla zvolena dle výrobců hloubka migrace, spotřeba, pH a cena. Na základě vybraných kritérií byl sestaven Fullerův trojúhelník, pomocí něhož byly porovnány jednotlivá kritéria mezi sebou a určena tak jejich vzájemná důležitost, respektive váha. Dále bylo rozhodnuto, zda je dané kritérium optimální nízké nebo vysoké. Kritéria byla vyčíslena v tabulce 18 a následně byl proveden výpočet jednotlivých preferencí.

Tabulka 18: Vyčíslená kritéria pro Fullerovu vícekriteriální metodu

Produkt	DRIZORO Maxrite Inhibitor	SIKA FerroGard 903 Plus	CORTEC MCI 2020	CORTEC MCI 2021	BASF MasterProtect 8000CI	FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020
Hloubka migrace [mm]	60	40	76	37,5	10	Výrobce neuveďeno
Spotřeba [l/m <sup>2</sup> ]	0,5	0,5	7,36	6,1	0,3	3,68
pH	12,5	10	9,5	12	11	9,5
Cena [Kč/l]	166	148	460	Výrobce neuveďeno	850	1290

Tabulka 19: Výsledné hodnoty preferencí jednotlivých migrujících inhibitorů – ve formě nátěru

Produkt	DRIZORO Maxrite Inhibitor	SIKA FerroGard 903 Plus	CORTEC MCI 2020	CORTEC MCI 2021	BASF MasterProtect 8000CI	FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020
Hloubka migrace [mm]	30,30	18,18	40,00	16,67	0,00	<i>Výrobce neuvedeno</i>
Spotřeba [l/m <sup>2</sup> ]	19,43	19,43	0,00	3,57	20,00	10,42
pH	30,00	5,00	0,00	25,00	15,00	0,00
Cena [Kč/l]	9,84	10,00	7,27	<i>Výrobce neuvedeno</i>	3,85	0,00
Preference [%]	<b>89,58</b>	<b>52,62</b>	<b>47,27</b>	<b>45,24</b>	<b>38,85</b>	<b>10,42</b>

Na základě výsledků multikriteriálního vyhodnocení (Tabulka 19) dostupných údajů migrujících inhibitorů koroze ve formě nátěru se jako optimální jeví Maxrite Inhibitor společnosti DRIZORO, dále SIKA FerroGard 903 Plus a CORTEC MCI 2020.

Pro experimentální ověření v další části v této práci je uvažováno s využitím inhibitoru FerroGard 903 Plus společnosti SIKA CZ s.r.o.. Podstatou experimentu je v tuto chvíli ověřit hloubku průniku do jednotlivých zkoušených vzorků a parametry ovlivňující tento aspekt, přičemž důraz není kladen na zajištění největších hloubek průniku inhibitoru.

## 11. ETAPA 2 – VÝBĚR BEDNÍCÍCH DÍLCŮ A VÝBĚR BETONOVÉHO JÁDRA

Varianty provedení bednění lze obecně rozdělit na ztracené bednění a systémové bednění (jednorázové nebo obrátkové bednění). Náplní druhé etapy byl výběr vhodného bednicího dílce pro aplikaci migrujícího inhibitoru koroze nátěrem. Bednicí dílce (silikátový, dřevocementový dílec a dílec na dřevěné bázi) byly mezi sebou porovnávány podle parametrů důležitých pro migraci inhibitoru pórovým systémem, především podle parametrů nasákavosti a objemové hmotnosti. Dále byly vybrány směsi pro výrobu betonového jádra (zejména s ohledem na rozdílnou otevřenou pórovitost betonového jádra).

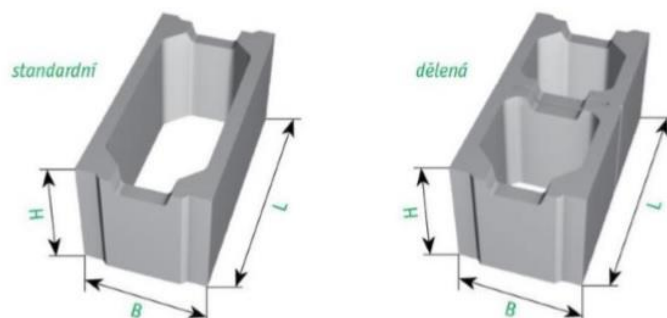
### 11.1. Silikátové bednicí dílce

#### 11.1.1. Bednicí tvarovka BTB – PREFA BRNO

Betonové bednicí tvarovky jsou průmyslově vyráběny z vibrolisovaného betonu třídy C8/10. Základem použitého betonu je cementová matrice, plnivo (kamenivo) a voda. Dále jsou obsaženy modifikační přísady pro zlepšení vlastností betonu. Používají se jako zdící materiál pro svislé nosné konstrukce suterénního zdiva, základů, pro vytváření stěn bazénů, opěrných stěn, podezdívek a jiných terénních úprav. Základní barvou je šedá (natural). Stěny tvarovek jsou rovné, připravené k finální úpravě (omítka, nátěr, stěrka, atd.). [38]

Tabulka 20: Technická data bednicí tvarovky BTB – PREFA BRNO [38]

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	855 kg/m <sup>3</sup>	ČSN EN 15435 Betonové prefabrikáty
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	14 g/m <sup>2</sup> s	ČSN EN 772-11 Zkušební metody pro zdící prvky
Propustnost vodních par	NPD	ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo
Pevnost	ohyb 3,1 MPa, tah 1,6 MPa	ČSN EN 15435 Betonové prefabrikáty
Přídržnost	NPD	ČSN EN 1052-3 Zkušební metody pro zdivo
Tepelná vodivost [W/mK]	NPD	ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo
Mrazuvzdornost	0,83 po 50 cyklech zmrazování	ČSN 72 2601 Cihlářské výrobky



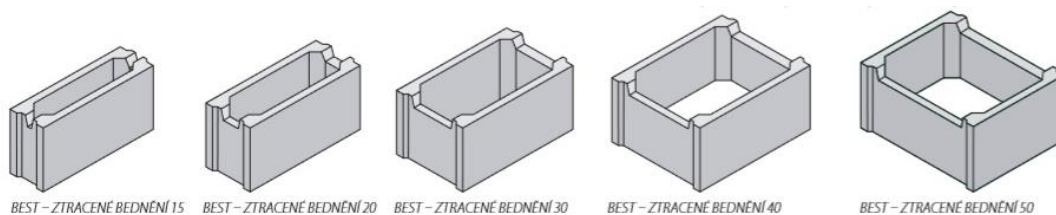
Obrázek 11: Bednicí tvarovka BTB – PREFA BRNO [38]

### 11.1.2. Ztracené bednění – BEST

Dutinové zdící tvarovky z prostého vibrolisovaného betonu vhodné pro zhotovení nosného i obvodového nezatepleného zdiva, nadezdívku základových pasů a stavby opěrných zdí nebo plotů bez použití bednění. Moderní technologie výroby zajišťuje mrazuvzdornost, rozměrovou přesnost, minimální nasákavost a požární odolnost. Profil tvarovek je uzpůsoben pro vkládání vodorovné výztuže a tvar bočnic prvků vytváří zámek. Jsou vyráběny a kontrolovány podle evropské harmonizované normy ČSN EN 771-3:2011. [39]

Tabulka 21: Technická data ztraceného bednění – BEST [39]

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	$\pm 10 \%$	ČSN EN 771-3:2011
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	$\leq 7 \text{ g/m}^2\text{s}$	
Propustnost vodních par	NPD	
Pevnost	tlak $\geq 15,0 \text{ MPa}$	
Přídržnost	NPD	
Tepelná vodivost [W/mK]	NPD	



Obrázek 12: Ztracené bednění – BEST [39]

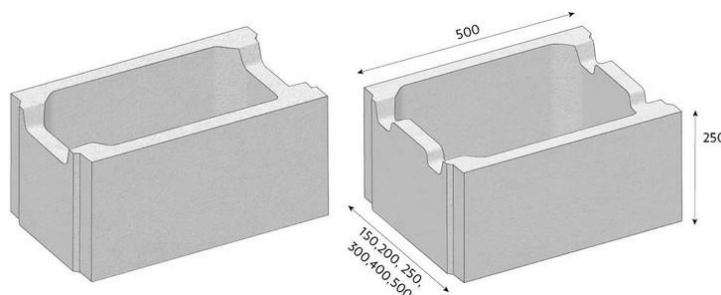


### 11.1.3. Bednicí tvárnice CSB – CS-BETON

Bednicí tvárnice CSB jsou vyrobeny z vibrolisovaného vysokopevnostního betonu. Vyrábí se v přírodní barvě betonu. Jsou určeny pro výrobu ztraceného bednění, které je určeno pro všechny stavby základových pásů různých druhů staveb bez použití klasického bednění. Profil tvárnice je uzpůsoben pro vkládání vodorovného armování, tvar bočnic vytváří zámky, které slouží k snadné montáži. [40]

Tabulka 22: Technická data bednicí tvárnice CSB – CS-BETON [40]

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	2100 kg/m <sup>3</sup>	ČSN EN 15435:2008
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	NPD	Norma neuvedena
Propustnost vodních par	NPD	
Pevnost bočnic v ohybu	2,43 MPa	ČSN EN 15435:2008
Přidržitost	NPD	Norma neuvedena
Tepelná vodivost [W/mK]	NPD	
Mrazuvzdornost	NPD	



Obrázek 13: Bednicí tvárnice CSB – CS-BETON [40]

### 11.1.4. Tvárnice ztraceného bednění T PD– BETON BROŽ

Tvárnice ztraceného bednění BROŽ jsou vyráběny z prostého vibrolisovaného betonu. Jsou vyráběny, sledovány a kontrolovány dle evropských harmonizovaných norem (ČSN EN 15435). Používají se zejména pro výstavbu svislých nosných i nenosných konstrukcí zdiva, základů, opěrných zdí, pro zpevnění svahu jako svahové tvárnice nebo nadezdívka základových pásů. [41]

Tabulka 23: Technická data tvárnice ztraceného bednění T PD – BETON BROŽ [41]

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	min. 650-1200 kg/m <sup>3</sup>	ČSN EN 15435
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	max. 100 g/m <sup>2</sup> s	
Propustnost vodních par	NPD	
Pevnost bočnic v ohybu	2,0 MPa	
Pevnost žebra v tahu	≥1,0 MPa	
Pevnost v tlaku	15,0 MPa	ČSN EN 772 – 1
Přidržitost	NPD	ČSN EN 15435
Tepelná vodivost [W/mK]	NPD	
Mrazuvzdornost	≥0,75 po 50 cyklech	ČSN 73 1322



Obrázek 14: Tvárnice ztraceného bednění T-PD – BETON BROŽ

## 11.2. Dřevocementový bednicí dílec

### 11.2.1. Dřevocementová tvárnice IZOBLOK – MFC-MORFICO

Dřevocementová tvárnice IZOBLOK bez tepelné izolace se vyrábí smíšením mineralizované smrkové štěpky, cementu a vody. Tloušťka stěny je 35-40 mm. Slouží jako ztracené bednění pro výplňový beton a nosič omítek. Tyto tvárnice se nejčastěji používají pro vnitřní nosné stěny nebo příčky. Vyznačují se výbornou neprůzvučností. Můžou se také použít jako nosné obvodové zdivo, které lze dodatečně zateplit. IZOBLOK je šetrný k přírodním zdrojům a má nízké nároky na spotřebu energií, jak při výrobě, tak při zpracování na stavbě. Zpracování je bezezbytkové tzn. vše, co není zabudováno lze vrátit výrobci k recyklaci. Nezatěžuje životní prostředí žádnými balíciemi plastovými fóliemi, nepotřebuje pro přepravu palety. [42]

Tabulka 24: Technická data dřevocementové tvárnice IZOBLOK – MFC-MORFICO (43)

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	500 až 550 kg/m <sup>3</sup>	ČSN EN 15498
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	NPD	
Propustnost vodních par	4,56 kg/m <sup>2</sup>	
Pevnost bočnic v ohybu	0,088-0,235 MPa	
Pevnost žebra v tahu	0,11-0,22 MPa	
Přidržnost	NPD	
Tepelná vodivost	0,13 W/mK	
Mrazuvzdornost	min. 25 cyklů	



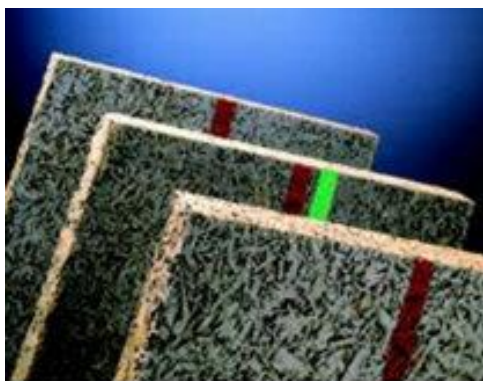
Obrázek 15: Dřevocementová tvárnice IZOBLOK – MFC-MORFICO [42]

### 11.2.2. Štěpkocementová deska WSD – VELOX

Jednovrstvé štěpkocementové desky se zvýšenou objemovou hmotností a vysokou dynamickou tuhostí, pro vytváření ztraceného bednění nosných obvodových a vnitřních stěn, se zvýšenými nároky na zvukovou izolaci. Výchozí surovinou pro její výrobu je kulatina jehličnatého dřeva, tzv. dřevitá štěpka, která z celkového objemu desky činí 89 %. Dalšími komponenty jsou cement zajišťující pevnost a soudržnost desek a roztok vodního skla, který stabilizuje desky proti vlhkosti a zvyšuje jejich odolnost proti plísním a hlodavcům. Desky VELOX jsou velmi dobře opracovatelné. Poréznost jejich povrchu zajišťuje jednak vynikající spojení s omítkou a betonem a zároveň dokonalé tlumící vlastnosti a pohlcování hluku. [43]

Tabulka 25: Technická data štěpkocementové desky WSD – VELOX [43]

Základní charakteristika	Vlastnost	Harmonizovaná technická specifikace
Objemová hmotnost	790 kg/m <sup>3</sup> ±10 %	ETA-12/0320
Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	8 kg/m <sup>2</sup>	
Propustnost vodních par	NPD	
Přidržnost	NPD	
Tepelná vodivost	0,15 W/mK	
Mrazuvzdornost	NPD	



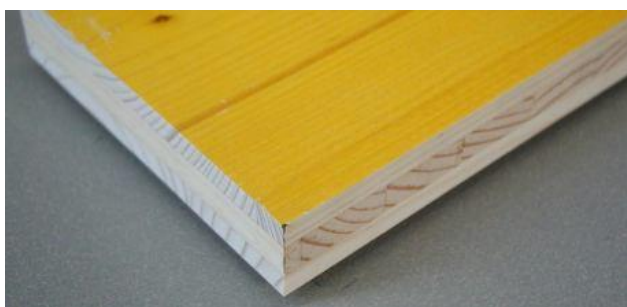
Obrázek 16: Štěpkocementová deska WSD – VELOX [43]

### 11.3. Bednicí dílec na dřevěné bázi

#### 11.3.1. Třívrstvá vodovzdorná bednicí deska – DOKA

Třívrstvá deska DOKA je vyrobena ze tříděného masivního smrkového dřeva, které pochází z kontrolovaných lesů. Svými vlastnostmi a konstrukcí je vhodná pro použití v bednění pro ukládání monolitického betonu např. při bednění stropů, stěn, nosných konstrukcí mostů, pilířů apod. Kvalita desky závisí na správných technologických postupech výroby. Při zpracování je kladen důraz na orientaci a tloušťku krycích vrstev, což zaručuje stabilitu desky. Speciální konstrukce středové vrstvy umožňuje absorpci vlhkosti a zabraňuje kroucení desky. Navíc je středová vrstva po celém obvodu opatřena obvodovou lištou, která desku uzavře a začistí hrany. Povrch chrání močovino-melaminová pryskyřice.

Tvoří architektonicky zajímavý povrch betonu. Chyby vzniklé při výrobě a ukládání betonové směsi částečně eliminuje díky své optimální savosti. Díky přiměřené savosti beton není tak náchylný k tvorbě pórů jako při použití nesavých překližek. [44]



Obrázek 17: Třívrstvá vodovzdorná bednicí deska – DOKA [44]

### 11.3.2. Vodovzdorná bednicí deska FinPly Maxi – PERI

PERI FinPly je velkoplošná betonářská deska pro kvalitní povrch pohledového betonu beze spár. Nesavá betonářská deska sestává z 15 křížem lepených březových dýh (finská březová překližka), lepení BFU 100. Zejména jsou tyto kvalitně opracované překližky používány pro stropy i stěny, a jsou ideální pro náročné betonové plochy beze spár a velký počet nasazení. Strana obrácená k betonu je potažena tvrzenou fenolovou pryskyřicí 540 g/m<sup>2</sup>. [45]



Obrázek 18: Vodovzdorná bednicí deska FinPly Maxi – PERI [45]

### 11.3.3. Velkoplošná překližovaná deska bez vodovzdorné úpravy – AZ WOOD

Překližky truhlářské jsou překližky určené pro všeobecné použití, jejichž konečnou povrchovou úpravu tvoří zpravidla loupaná jehličnatá, nebo listnatá dýha. Jsou vyráběny v příčném i podélném provedení, oboustranně broušené. Překližky jsou lepené močovino-formaldehydovým lepidlem. [46]



Obrázek 19: Překližovaná deska [46]

## 11.4. Výběr a porovnání jednotlivých bednicích dílců

### 11.4.1. Silikátový a dřevocementový bednicí dílec

Z dostupných technických listů komerčně používaných silikátových a dřevocementových bednicích dílců byly vybrány parametry, které mohou pozitivně ovlivnit průnik inhibitoru. Z těchto parametrů byly sestaveny výsledné souhrny (Tabulka 26, 27) na základě kterých, bylo možné dílce porovnat. Na migraci inhibitoru by měla mít největší vliv otevřená pórovitost dílců. Pórovitost však nebyla uváděna výrobcí v technických listech. Lze jen tedy předpokládat, že dílce s nižší objemovou hmotností mají vyšší obsah pórů a tím vyšší nasákavost. U těchto dílců tedy dochází k vyššímu kapilárnímu či difúznímu pohybu vody/inhibitoru.

Tabulka 26: Silikátové bednicí dílce – výsledný souhrn parametrů

Výrobce	Název	Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	Objemová hmotnost
<b>PREFA BRNO</b>	Bednicí tvarovka BTB	14 g/m <sup>2</sup> s	855 kg/m <sup>3</sup>
<b>BEST</b>	Ztracené bednění	7 g/m <sup>2</sup> s	<i>Výrobcem neuvedeno</i>
<b>CS-BETON</b>	Bednicí tvárnice CSB	11 g/m <sup>2</sup> s	2100 kg/m <sup>3</sup>
<b>BETON BROŽ</b>	Tvárnice ztraceného bednění T PD	100 g/m <sup>2</sup> s	650-1200 kg/m <sup>3</sup>

Na základě porovnání výše uvedených parametrů silikátových bednicích dílců, lze konstatovat, že pro migraci inhibitoru bude nejvhodnější bednicí tvarovka společnosti PREFA BRNO. Tvarovka společnosti BETON BROŽ udává sice vyšší součinitel nasákavosti, nicméně tuto hodnotu nelze přiřadit k dané objemové hmotnosti. Z tohoto důvodu nelze tvrdit, že při stejné objemové hmotnosti jako tvarovka PREFA BRNO má vyšší součinitel nasákavosti.

Tabulka 27: Dřevocementové bednicí dílce – výsledný souhrn parametrů

Výrobce	Název	Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity	Objemová hmotnost
<b>MFC-MORFICO</b>	Dřevocementová tvárnice IZOBLOK	<i>Výrobcem neuvedeno</i>	500-550 kg/m <sup>3</sup>
<b>VELOX</b>	Štěpkocementová deska WSD	8 g/m <sup>2</sup> s	790 kg/m <sup>3</sup>

Dřevocementové bednicí dílce lze na základě zjištěných parametrů od výrobců porovnat pouze podle objemové hmotnosti. Jak již bylo zmíněno výše, předpoklad je takový, že nižší objemová hmotnost znamená vyšší pórovitost a tedy nasákavost. Z tohoto vyplývá, že tvárnice IZOBLOK by měla být vhodnější pro migraci inhibitoru.

#### **11.4.2. Bednicí dílec na dřevěné bázi**

V případě použití bednicích dílců na dřevěné bázi bez povrchové úpravy je migrace inhibitoru koroze ve struktuře dřeva ovlivněna jeho sorpčními vlastnostmi. Hygroskopicita dílce ovlivňuje rovnovážný vlhkostní stav dřeva, kdy rozdílná vlhkost je dominantním aspektem ovlivňující způsob pohybu kapalného inhibitoru strukturou dřeva. V případě vlhkostí dřeva nižších, než je mez hygroskopicity, lze uvažovat s vázáním inhibitoru pomocí chemických vazeb na chemické sloučeniny dřeva (zejména na polysacharidickou část). U této vazby lze očekávat případný pohyb kapaliny/inhibitoru difúzním jevem. Naopak v případě vlhkosti dřeva vyššího než mez hygroskopicity lze očekávat pohyb kapaliny/inhibitoru ve struktuře dřeva kapilární elevací či propustností. V praxi jsou bednicí desky většinou opatřeny vodovzdornou povrchovou úpravou (z močovino-melaminových nebo fenolových pryskyřic). U těchto dílců nelze předpokládat jakýkoliv proces migrace inhibitoru přes tuto hydrofobní úpravu. Výzkum vodovzdorné povrchové úpravy s migrujícími inhibitory by mohl navazovat v budoucnu.

#### **11.5. Výběr složení betonového jádra**

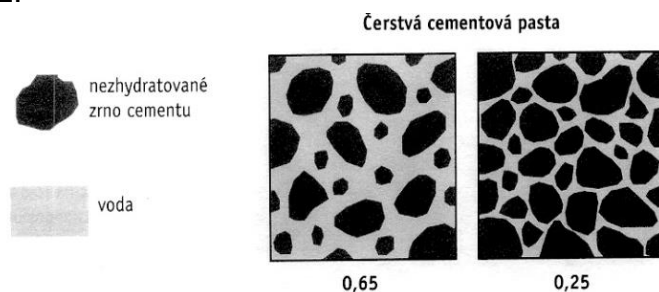
Vyrobeny byly tři betonové směsi. Všechny směsi obsahovaly stejné množství cementu třídy CEM II 32,5 R, který se používá pro výrobu běžných betonů (objemová hmotnost 2000-2600 kg/m<sup>3</sup>) třídy C20/25, v tomto případě jako výplň ztraceného bednění (betonové jádro). Výběr kameniva byl volen s plynulou křivkou zrnitosti do  $D_{\max}$  16 mm. Procentuální rozdělení jednotlivých frakcí kameniva vychází z křivky zrnitosti dle Fullera (0-4=50 %, 4-8=21 %, 8-16=29 %). [47]

Množství záměsové vody má zásadní vliv na pórovitost, která je důležitá pro migraci inhibitoru koroze. V betonu je možné rozeznávat několik typů pórů podle velikosti:

- a)** póry vzniklé nedokonalým zhutněním (nepravidelná struktura, kaverny),
- b)** póry v zrnech kameniva,
- c)** póry sférické (vznikají provzdušněním, velikost 100 až 300  $\mu\text{m}$ ),
- d)** póry kapilární (0,1 až 10  $\mu\text{m}$ , ovlivněny množstvím záměsové vody, hydratací cementu),
- e)** póry gelové uvnitř pevných hydrátů (1 až 10 nm). [48] [49]

Migrace inhibitoru koroze strukturou betonu probíhá zejména difúzí případně i transmisí s využitím spojeného kapilárního systému pórů v betonu. [50] Byly vyrobeny vzorky betonu pro dosažení rozdílných hodnot pórovitosti tzn. zkušební betonová jádra při různé hodnotě vodního součinitele. Lze očekávat, že nižší hodnota vodního součinitele zajistí menší množství a velikost pórů (Obrázek 23). Pro vzdušňovací přísada nebyla z důvodu vytvoření uzavřených sférických pórů využita.

Příměsi nebyly uvažovány, jemně mleté příměsi by mohly zaplňovat vzniklé kapilární póry, a tím by negativně ovlivňovaly migraci inhibitoru koroze. Výroba a ošetřování zkušebních těles bude provedena v souladu s normou ČSN EN 12390-2.



Obrázek 20: Schématické znázornění dvou čerstvých cementových past s hodnotami vodního součinitele 0,65 a 0,25 [51]

Tabulka 28: Materiálové složení betonového jádra

Receptura		Betonová směs 1 (BS 1)	Betonová směs 2 (BS 2)	Betonová směs 3 (BS 3)
Třída betonu		C20/25		
Cement CEM I 32,5 N [kg]		350		
Vodní součinitel w		0,35	0,45	0,55
Voda [kg]		122,5	157,5	192,5
Kamenivo [kg]	0-4	987	940	894
	4-8	414	395	375
	8-16	572	545	519



## 12. ETAPA 3 – PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ MIGRACE INHIBITORU KOROZE

V závěrečné etapě byly připraveny směsi betonového jádra, z nichž byly vyrobeny zkušební tělesa a zkušební bednicí dílce (silikátový a dřevocementový). Na těchto zkušebních tělesech a dílcích byly stanoveny jejich základní vlastnosti a parametry. V rámci této etapy byl aplikován inhibitor koroze SIKAFERROGARD 903 Plus na povrch všech zkušebních těles, a to jak vzorků betonového jádra, tak i na povrch jednotlivých bednicích dílců. Sledována byla časová závislost průniku (migrace) inhibitoru do materiálu při různých vlhkostních expozicích. Na základě tohoto měření je možné určit ideální kombinaci zkušebního dílce a betonového jádra pro dostatečnou migraci inhibitoru koroze.

### 12.1. Určení vybraných parametrů zkoušených materiálů

#### 12.1.1. Betonové výplňové jádro

Na základě výběru z předchozí etapy byly připraveny tři směsi betonové jádra o různém vodním součiniteli. Z každé připravené směsi bylo vytvořeno 6 zkušebních těles (krychlí) o délce hrany 100 mm. Jednotlivé směsi jsou označeny BS1 (vodní součinitel  $w=0,35$ ), BS2 (vodní součinitel  $w=0,45$ ) a BS3 (vodní součinitel  $w=0,55$ ).

##### 12.1.1.1. Objemová hmotnost čerstvého betonu

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla stanovena na všech zkušebních tělesech podle normy ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost* jako poměr hmotnosti čerstvého betonu a objemu nádoby.

Tabulka 29: Objemová hmotnost čerstvého betonového jádra

Betonové jádro	Průměr $D_{\text{čB}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
BS1	2040
BS2	2210
BS3	2230

### 12.1.1.2. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla stanovena na všech zkušebních tělesech podle normy ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu* jako poměr hmotnosti ztvrdlého betonu a objemu tělesa.

Tabulka 30: Objemová hmotnost ztvrdlého betonového jádra

Betonové jádro	Označení	D <sub>ZB</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměr D <sub>ZB</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
BS1	1	2200	2150
	2	2200	
	3	2130	
	4	2170	
	5	2070	
	6	2110	
BS2	1	2200	2180
	2	2150	
	3	2180	
	4	2210	
	5	2150	
	6	2180	
BS3	1	2200	2200
	2	2170	
	3	2170	
	4	2210	
	5	2210	
	6	2220	

### 12.1.1.3. Orientační pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla stanovena po 7 a 28 dnech podle normy ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles z maximálního zatížení při rozdrčení tělesa*. U každé betonové směsi byla pevnost stanovena na 3 zkušebních tělesech po 7 dnech a 2 tělesech po 28 dnech.

Tabulka 31: Pevnost v tlaku (betonové jádro)

Betonové jádro	f <sub>c7</sub> [MPa]	f <sub>c28</sub> [MPa]
BS1	26,0	29,0
BS2	22,5	26,0
BS3	18,0	21,0

#### 12.1.1.4. Nasákavost

Zkušební tělesa (krychle) byla nejprve zvážena a poté vložena na 72 hodin do sušárny o teplotě 105 °C do ustálení hmotnosti dle ČSN ISO 12570. Po uplynutí požadované doby byla zkušební tělesa vyjmuta, po ochlazení na teplotu místnosti opět zvážena a následně uložena do vody dle normativního postupu. Po 72 hodinách byly krychle z vody vyjmuty, osušeny a zváženy. Následně byly vzorky vystaveny vodnímu uložení s teplotou vody 100 °C po dobu 4 hodin a poté zváženy.

Tabulka 32: Celková nasákavost betonového jádra

Betonové jádro	Nasákavost po 72 hodinách [%]	Nasákavost varem [%]
BS1	4,2	4,6
BS2	5,3	5,8
BS3	6,9	7,4

#### 12.1.2. Bednicí dílce

Na základě výběru ve druhé etapě byly připraveny zkušební bednicí dílce (silikátový a dřevocementový), které byly pro účely experimentu upraveny na rozměry 150x250x30 (silikát) a 150x250x50 (dřevocement). Jednotlivé dílce jsou označeny BD1 (silikátový bednicí dílec) a BD2 (dřevocementový bednicí dílec).

##### 12.1.2.1. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla stanovena u silikátového a dřevocementového dílce podle normy ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu jako poměr hmotnosti ztvrdlého betonu a objemu tělesa.*

Tabulka 33: Objemové hmotnosti bednicích dílců

Bednicí dílec	Označení	D <sub>ZB</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměr D <sub>ZB</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
BD1	1	1960	2020
	2	2060	
	3	1950	
	4	2060	
	5	2090	
	6	2070	
BD2	1	620	610
	2	630	
	3	600	
	4	620	
	5	600	
	6	610	

### 12.1.2.2. Nasákavost

Zkušební dílce byly nejprve zváženy a poté vloženy na 72 hodin do sušárny o teplotě 105 °C do ustálení hmotnosti dle ČSN ISO 12570. Po uplynutí požadované doby byly zkušební dílce vyjmuty, po ochlazení na teplotu místnosti opět zváženy a následně uloženy do vody dle normativního postupu. Po 72 hodinách byly dílce z vody vyjmuty, osušeny a zváženy. Následně byly vzorky vystaveny vodnímu uložení s teplotou vody 100 °C po dobu 4 hodin a poté zváženy.

Tabulka 34: Celková nasákavost bednicích dílců

Bednicí dílec	Nasákavost po 72 hodinách [%]	Nasákavost varem [%]
BD1	5,6	5,9
BD2	48,9	50,2

## 12.2. Aplikace inhibitoru

Před dodatečnou aplikací inhibitoru ve formě nátěru na bednicí dílec (silikátový, dřevocementový) a betonové jádro je nutné znát kapilární jevy a difúzní jevy inhibitoru v různých vlhkostních stavech. Proto je uvažováno s měřením hloubky průniku inhibitoru při těchto vlhkostních stavech:

- a) při plné saturaci vodou (alternativa při aplikaci čerstvé betonové směsi)
- b) při sorpční vlhkosti dílce 3 % (alternativa cementového tmele po zatvrdnutí a při expozici běžným podmínkám)

**a) Plná saturace (nasáknutí) vodou** byla dosažena uložení ve vodě (72 hod) a následným vystavením zkušebních těles varu ve vodě (4 hod). Následně byl povrch zkušebních těles ošetřen inhibitorem koroze Sika FerroGard 903 Plus na bázi organických sloučenin s plošným nánosem 0,8 l/m<sup>2</sup>. Nasáknutí zkušebních těles bylo udržováno v klimatizační komoře ERICHSEN při teplotě 60 °C a vlhkosti 70 % po dobu měření průniku inhibitoru po dobu 168 hodin. Orientačně byla měřena vlhkost zkušebních těles, v případě výkyvu vlhkosti od požadované hodnoty se provedlo vysušení, respektive navlhčení vzorků.

Tabulka 35: Plná saturace betonového jádra a bednicích dílců vodou

Zkušební těleso	Plná saturace [%]
BS1	4,6
BS2	5,8
BS3	7,4
BD1	5,9
BD2	50,2

**b) Sorpční vlhkost** 3 % vzorku bylo dosaženo uložením ve vodě do požadované hodnoty nasáknutí odpovídající 3 % hmotnosti příjmu vody. Následně byl povrch zkušebních těles ošetřen inhibitorem koroze SIKA FerroGard 903 Plus na bázi organických sloučenin s plošným nánosem 0,8 l/m<sup>2</sup>. Rovnovážná vlhkost byla u zkušebních těles byla udržována v klimatizační komoře ERICHSEN při teplotě 60 °C a vlhkosti 70 % po dobu měření průniku inhibitoru po dobu 168 hodin. Orientačně byla měřena vlhkost zkušebních těles, v případě výkyvu vlhkosti od požadované hodnoty se provedlo vysušení, respektive navlhčení vzorku.



Obrázek 21: Zkušební tělesa uložená v klimatizační komoře

### 12.3. Zjišťování hloubky průniku migračního inhibitoru SIKA FerroGard 903 Plus

Pro důkaz hloubky průniku inhibitoru byla použita metodika dodavatele inhibitoru. V případě zkušebních těles (betonové jádro, bednicí dílce) byl postup aplikován následovně:

- a) Vzorky z různých hloubek zkušebních těles byly odebírány pomocí vrtáků (vrtáno za sucha). U betonového jádra a silikátového bednicího dílce byl vzorek odebrán měřitelným dorazem špičky vrtáku v hloubce 0 až 2 mm, 2 až 5 mm a 5 až 10 mm. U dřevocementového bednicího dílce byl odběr vzorku zajištěn z různých hloubek jeho odřezáním pilovým plátem. Vzniklý silikátový prášek, resp. dřevocementový vzorek byl vložen do skleněné láhve pro zajištění jeho následného vyluhování.



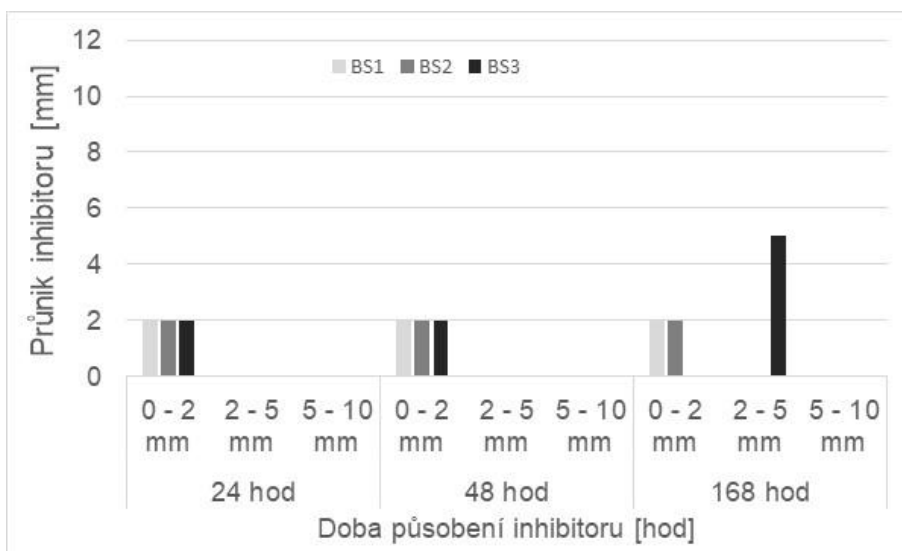
Obrázek 22: Odebrané vzorky z bednicího dílce BD1 a betonového jádra BS3

- b) Časový úsek pro stanovení přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách je uvažován po uplynutí 24 hod, 48 hod a 168 hod od povrchové aplikace inhibitoru.
- c) Pro všechna měření byl použit komparativní vzorek (ozn. 0), z míst, kde nebyl inhibitor aplikován a komparativní vzorek (ozn. S) obsahující rozředěný FerroGard 903 Plus.
- d) Skleněná láhev se vzorky se vyplnila destilovanou vodou (cca 1 mm nad úroveň prášku, uzavřela se a 30 s protřepala), poté se nechala 30 min odstát.
- e) Pomocí stříkačky se odebral výluh (vzorek zakalené vody nad usazenou drtí), který byl následně promyt přes mikrofiltr do čisté skleněné láhve.
- f) Mikropipetou byly odebrány výluhy z betonů/dřevocementů, které byly aplikovány na chromatografickou desku a zároveň vysoušeny. Každý vzorek vytvořil na desce bod o průměru cca 5 mm.

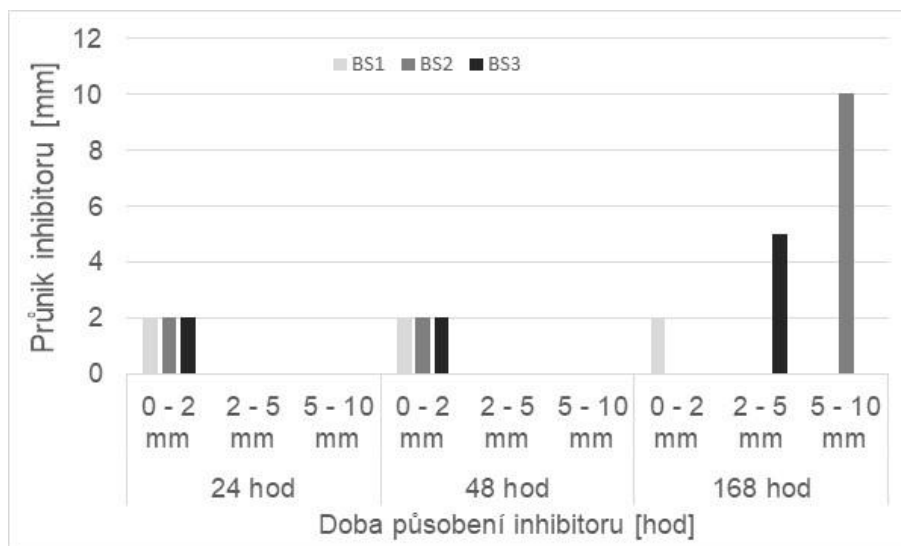
- g) Na vysušenou chromatografickou desku se jemně rozstříkaly testovací roztoky A a B, poté byl povrch opět vysušen (1-3 min) až do doby, kdy skvrna standardního roztoku (ozn. S) změnila barvu. Vyhodnocení vzorku výluhu z betonu obsahující inhibitor je barevně indikován červeným zbarvením, komparativní vzorek (ozn. 0) bílou barvou (nezměněna od barvy chromatografické destičky).

### 12.3.1. Výsledky zkoušek hloubky penetrace – betonové výplňové jádro

Výsledky zkoušek časového průniku inhibitoru pro všechna zkoušená betonová jádra s rozdílnou pórovitostí jsou uvedeny na následujících grafech. Hloubka průniku byla zjišťována při hodnotách plně saturovaného betonového jádra vodou (BS1 hodnota 4,6 %, BS2 hodnota 5,8 % a BS3 hodnota 7,4 %) a při vlhkostním stavu 3 % těchto betonových zkušebních vzorků. Je nutné zmínit, že z hlediska aplikace inhibitoru u vzorků nasáknutých vodou byla významně ovlivněna hodnota průniku inhibitoru. Inhibitor povrch nesmáčel. Z toho důvodu byly zkušební vzorky ponechány laboratornímu prostředí po dobu 60 minut, kdy došlo k povrchovému vyschnutí vzorků. Po uplynutí 60 minut byla stanovena vlhkost těchto dílců (BS1 hodnota 4,4 %, BS2 hodnota 5,6 % a BS3 hodnota 7,1 %). Po této době došlo k řádnému průniku inhibitoru do matrice zkušebního vzorku.



Graf 4: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách zkušebních těles betonového jádra při plné saturaci vodou



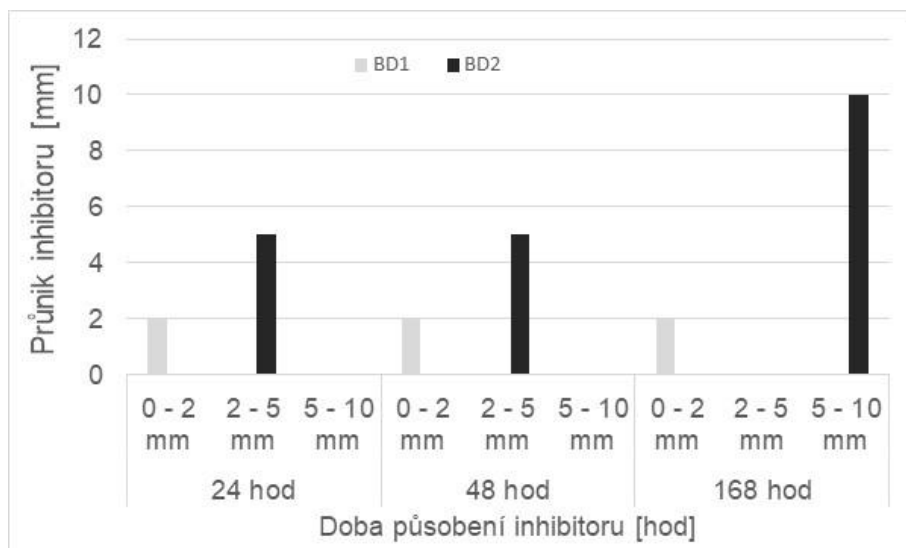
Graf 5: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách zkušebních těles betonového jádra při vlhkosti 3%

Z naměřených hodnot průniku inhibitoru do betonového jádra lze určit, že bylo dosaženo předpokladu, kdy vyšší množství záměsové vody vytvoří vyšší pórovitost tedy hustější síť kapilárních pórů. Pórovitější struktura betonového jádra (BS2 a BS3) zajistila při obou vlhkostních stavech (sorpční vlhkost 3 % a plná saturace vodou) vyšší hloubku průniku po 168 hod. V případě 3 % sorpční vlhkosti bylo dosaženo nejvyššího průniku do 10 mm po 168 hod pro betonové jádro BS2. V případě nasáknutého zkušební dílce bylo dosaženo nejvyššího průniku do 5 mm po 168 hod pro betonové jádro BS3. Na základě těchto výsledků je možné určit, že při vyšším vlhkostní stavu v betonovém jádře byl obsah vlhkosti v kapilárách nadměrný. Docházelo k tomu, že inhibitor nesmácel povrch betonového jádra a spíše byl z povrchu odpuzován.

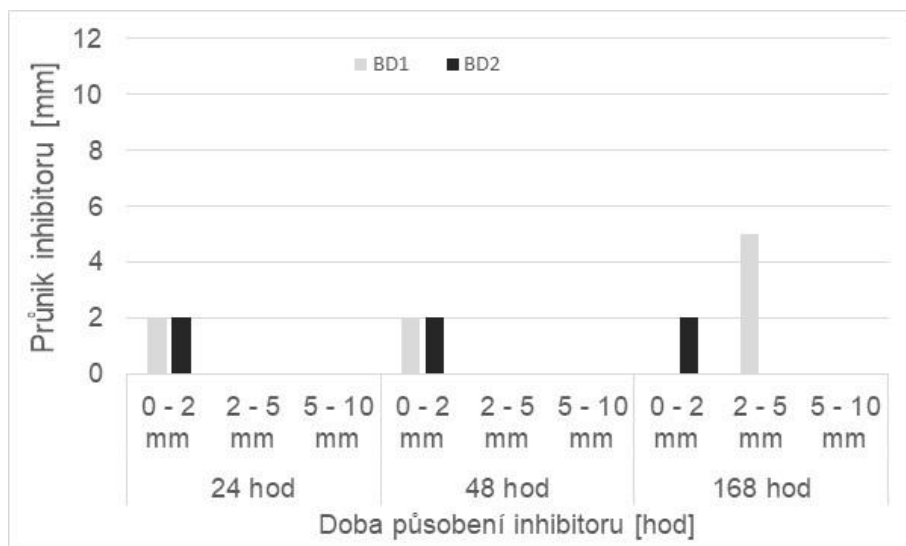
### 12.3.2. Výsledky zkoušek hloubky penetrace – bednicí dílce

Výsledky zkoušek časového průniku inhibitoru pro všechny zkoušené betonové dílce (silikátový, dřevocementový) při odlišných vlhkostních stavech jsou uvedeny v následujících grafech. Hloubka průniku inhibitoru do bednicích dílců byla zjišťována při hodnotách plně saturovaných zkušebních dílců vodou (BD1 hodnota 5,9 % a BD2 hodnota 50,2 %) a při vlhkostním stavu 3 % těchto zkušebních těles. Při aplikaci inhibitoru na povrch plně saturovaného bednicího dílce BD1 vodou bylo možné sledovat totožný trend nesmáčení povrchu dílce inhibitorem jako u betonového jádra. Z toho důvodu byly zkušební dílce BD1 opět ponechány laboratornímu prostředí po dobu 60 minut, kdy došlo k povrchovému vyschnutí vzorků.





Graf 6: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách bednicích dílců při plné saturaci vodou



Graf 7: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách bednicích dílců při vlhkosti 3 %

Z naměřených hodnot průniku inhibitoru do silikátového bednicího dílce je patrné, že došlo k vyššímu průniku inhibitoru do struktury betonu při 3 % vlhkostním stavu. Při stavu plné saturace vodou se potvrdil předpoklad, že vyšší obsah vody zaplnil kapiláry natolik, že nedocházelo k dalšímu průniku inhibitoru. Naopak u dřevocementového dílce měl vyšší vlhkostní stav pozitivní vliv. Při nižší vlhkosti došlo k navázání inhibitoru na dřevní část, čímž byl ovlivněn kapilární proces, a tedy nedocházelo k dostatečnému průniku.

## 13. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo ověření chování nového progresivního bednicího systému se zvýšenou účinností ochrany ocelové výztuže. Ochrana ocelové výztuže měla být zajištěna ošetřením bednicího systému migrujícím inhibitorem koroze.

V první etapě byly vybrány a popsány komerčně dostupné migrující inhibitory koroze, které jsou v praxi používány ve formě přísady do čerstvé směsi nebo ve formě nátěru. Tyto inhibitory byly vzájemně porovnávány na základě vybraných parametrů. Z důvodu rozdílné chemické báze, různého způsobu dávkování a nedostupnosti informací o účinnosti, nebylo uvažováno s inhibitorem ve formě přísady. Inhibitory ve formě nátěru bylo možné vzájemně porovnat a pomocí optimalizační metody bylo zjištěno, které parametry jsou nejdůležitější pro migraci inhibitoru koroze.

Náplní druhé etapy byl výběr a popis dostupných bednicích dílců. Jednalo se o bednicí dílce silikátové, dřevocementové a na dřevěné bázi. Silikátové i dřevocementové dílce bylo možné porovnat na základě objemové hmotnosti, která přímo souvisí s pórovitostí a tedy nasákavostí. Závěr této etapy byl věnován popisu betonového jádra i silikátových bednicích dílců se zohledněním příslušných parametrů pro řádný transport inhibitoru do jejich struktury.

Poslední etapa byla věnována praktickému ověření. U betonových směsí s různým stupněm pórovitosti a u bednicích dílců byly ověřeny hodnoty průniku inhibitoru při různých vlhkostních stavech. Bylo ověřeno, že migrující inhibitor koroze proniká do struktury betonu hlavně kapilární sorpcí v prvních 7 dnech po jeho aplikaci na povrch. Při vyšší pórovitosti betonového jádra byla dle předpokladu hodnota průniku inhibitoru vyšší; u hutnějšího betonového jádra a silikátového bednicího dílce docházelo při vyšším obsahu vody v kapilárách spíše k opačnému jevu. Při plné saturaci dílce vodou inhibitor téměř nesmáčel povrch dílce. U dřevocementového dílce naopak s vyšším množstvím vlhkosti docházelo k vyššímu průniku inhibitoru. Při nižší vlhkosti dřevní část dílců navázala inhibitor a nedocházelo tak k další migraci. Vlhkost tedy znesnadňuje kapilární tok inhibitoru u silikátových výrobků. Pro dosažení vyšších hloubek průniku by bylo nutné delšího časového úseku. Na povrchu obsažená voda znesnadňuje difúzní tok inhibitoru u silikátových výrobků.

Cíl bakalářské práce byl splněn, tzn. byla jednoznačně prokázána možnost penetrace pomocí inhibitorů na povrchu různých bednících dílců, jakož i jejich reálný transport do hloubky. Zde se nabízí další možnosti výzkumu, které by mohly být realizovány v rámci navazující diplomové práce.

## 14. SEZNAM LITERATURY

1. HELA, Rudolf. *Technologie betonu I*. Brno : Studijní opory VUT, 2005.
2. HELA, Rudolf. *Technologie stavebních dílců*. Brno : Studijní opory VUT, 2005.
3. ROVNANÍKOVÁ, Pavla, ROVNANÍK, Pavel a KŘÍSTEK, Richard. *Stavební chemie: Degradace stavebních materiálů a chemie kovů*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-7204-410-9.
4. NOVÁK, Petr. *Koroze kovů*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství.
5. RENZ, Robert Phillip. *Design and synthesis of benign, N- and O-containing, organic ligands for surface engineering*. [Diplomová práce] Edinburgh : University of Edinburgh, 2007.
6. NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství.
7. TRABANELLI, Giordano. Corrosion inhibitors. [autor knihy] F. Mansfeld. *Corrosion mechanisms*. New York : Marcel Dekker, Inc, 1987, stránky 119-163.
8. COUFAL, Pavel. *Infračervená spektroskopie*. Praha : Univerzita Karlova: Přírodovědecká fakulta.
9. GALIO, Camila G. and ALEXANDRE F. Corrosion Inhibitors - Principles, Mechanisms and Applications. [autor knihy] M. Aliofkhazraei. *Developments in Corrosion Protection*. Tehran : InTech, 2014.
10. MYRDAL, Roar. *Corrosion Inhibitors - State of the art*. Norway : SINTEF Building and Infrastructure, 2010.
11. RANI, Amitha a BASU, Bharathibai J. *Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys*. Bangalore : CSIR-National Aerospace Laboratories, 2012.
12. KESAVAN, Devarayan. *Green Inhibitors for Corrosion of Metals*. Tiruchirappalli : National Institute of Technology, 2012.
13. OSIAL, Magdalena a WILIŃSKI, Daniel. *Organic substances as corrosion inhibitors for steel in concrete - an overview*. Polsko : Journal of Building Chemistry, 2016.
14. BLAHA, Martin a BUKOVSKÝ, Ladislav. *Prevence a odstranění vlhkosti*. Brno : ERA Group, 2004. ISBN 80-214-1647-5.
15. HAMINGER, Milan. *Difúze*. Brno : Biskupské gymnázium, 2018.
16. BULÁNEK, Roman. *Povrchové jevy na pevných látkách*. Pardubice : Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2014.
17. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická Praze.
18. HUBBARD, Arthur T. *The Handbook of Surface Imaging and Visualization*. London : CRC Press, 1995.
19. BASTL, Zdeněk. *Fotoelektronová spektroskopie ve třetím tisíciletí*. Praha : Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Akademie věd České republiky, 2008.
20. BRIGGS, David a SEAH, Martin P. *Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 1983.

21. NOVOTNÁ, Miroslava. *www.lms.vscht.cz*. [Online] Laboratoř molekulové spektroskopie, 2010. <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>.
22. KLÍČ, Alois, VOLKA, Karel a DUBCOVÁ, Miroslava. *Fourierova transformace s příklady z infračervené spektroskopie*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2012.
23. SIKA. *technický list - přísada do betonu FerroGard 901*.
24. BASF. *technický list - přísada do betonu MasterLife CI 222*.
25. BASF. *technický list - přísada do betonu MasterLife CI 30*.
26. W.R. Grace & Co. *technický list - přísada do betonu DCI*.
27. W.R. Grace & Co. *technický list - přísada do betonu DCI-S*.
28. EUCLID CHEMICAL. *technický list - přísada do betonu Eucon CIA*.
29. EUCLID CHEMICAL. *technický list - přísada do betonu Eucon BCN*.
30. BETOSAN. *technický list - přísada do betonu Armoguard P*.
31. CORTEC. *technický list - přísada do betonu MCI 2006 NS*.
32. DRIZORO. *technický list - přísada do betonu Maxrite Inhibitor*.
33. SIKA. *technický list - přísada do betonu FerroGard 903 Plus*.
34. CORTEC. *technický list - přísada do betonu MCI 2020*.
35. CORTEC. *technický list - přísada do betonu MCI 2021*.
36. BASF. *technický list - přísada do betonu MasterProtect 8000 CI*.
37. FLEXCRETE. *technický list - přísada do betonu Cemprotec MCI 2020*.
38. PREFA BRNO. *technický list - bednicí tvarovka BTB*.
39. BEST. *technický list - ztracené bednění*.
40. CS-BETON. *technický list - bednicí tvárnice CSB*.
41. BETON BROŽ. *technický list - tvárnice ztraceného bednění T PD*.
42. MFC-MORFICO. *technický list - dřevocementová tvárnice IZOBLOK*.
43. VELOX. *technický list - štěpkocementová deska WSD*.
44. DOKA. *informace o produktu - třívrstvá vodovzdorná bednicí deska*.
45. PERI. *informace o produktu - vodovzdorná bednicí deska FinPly Maxi*.
46. AZ WOOD. *informace o produktu - překližovaná deska*.
47. SOKOLÁŘ, Radomír a HELA, Rudolf. *Zkušebnictví a technologie*. Brno : Studijní opory VUT.
48. HELA, Rudolf. *Technologie betonu II*. Brno : Studijní opory VUT, 2007.
49. COLLEPARDI, Mario. *MODERNÍ BETON: THE NEW CONCRETE*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-87093-75-7.
50. *www.cortecmci.com*. *MCI*. [Online] CORTEC Corporation, 2018.
51. AITCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-39-9.

## 15. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Technická data přísady do betonu SIKA FerroGard 901 [24] .....	36
Tabulka 2: Technická data přísady do betonu BASF MasterLife CI 222 [25] .....	37
Tabulka 3: Technická data přísady do betonu BASF MasterLife CI 30 [26] .....	37
Tabulka 4: Technická data přísady do betonu W.R. Grace & Co. – DCI [27] .....	38
Tabulka 5: Technická data přísady do betonu W.R. Grace & Co. – DCI-S [28]....	38
Tabulka 6: Technická data přísady do betonu EUCLID CHEMICAL Eucon CIA [29] .....	39
Tabulka 7: Technická data přísady do betonu EUCLID CHEMICAL Eucon BCN [30] .....	39
Tabulka 8: Technická data přísady do betonu BETOSAN Armoguard P [31].....	40
Tabulka 9: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2006 NS [32] .....	40
Tabulka 10: Komerčně dostupné migrující inhibitory korze (přísada do čerstvé směsi) – parametry.....	41
Tabulka 11: Technická data přísady do betonu DRIZORO Maxrite Inhibitor [33].	42
Tabulka 12: Technická data přísady do betonu SIKA FerroGuard 903 Plus [34] .	42
Tabulka 13: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2020 [35] .....	43
Tabulka 14: Technická data přísady do betonu CORTEC MCI 2021 [36] .....	43
Tabulka 15: Technická data přísady do betonu BASF MasterProtect 8000 CI [37] .....	44
Tabulka 16: Technická data přísady do betonu FLEXCRETE Cemprotec MCI 2020 [38] .....	44
Tabulka 17: Komerčně dostupné migrující inhibitory koroze (nátěr) – parametry.	45
Tabulka 18: Vyčíslená kritéria pro Fullerovu vícekritériální metodu.....	45
Tabulka 19: Výsledné hodnoty preferencí jednotlivých migrujících inhibitorů – ve formě nátěru .....	46
Tabulka 20: Technická data bednicí tvarovky BTB – PREFA BRNO [39] .....	47
Tabulka 21: Technická data ztraceného bednění – BEST [40].....	48
Tabulka 22: Technická data bednicí tvárnice CSB – CS-BETON [41] .....	49
Tabulka 23: Technická data tvárnice ztraceného bednění T PD – BETON BROŽ [42] .....	50
Tabulka 24: Technická data dřevocementové tvárnice IZOBLOK – MFC- MORFICO (43) .....	51
Tabulka 25: Technická data štěpkocementové desky WSD – VELOX [44].....	51
Tabulka 26: Silikátové bednicí dílce – výsledný souhrn parametrů .....	54
Tabulka 27: Dřevocementové bednicí dílce – výsledný souhrn parametrů .....	54
Tabulka 28: Materiálové složení betonového jádra .....	56
Tabulka 29: Objemová hmotnost čerstvého betonového jádra.....	57
Tabulka 30: Objemová hmotnost ztvrdlého betonového jádra .....	58
Tabulka 31: Pevnost v tlaku (betonové jádro) .....	58
Tabulka 32: Celková nasákavost betonového jádra .....	59
Tabulka 33: Objemové hmotnosti bednicích dílců.....	59
Tabulka 34: Celková nasákavost bednicích dílců.....	60
Tabulka 35: Plná saturace betonového jádra a bednicích dílců vodou .....	61

## 16. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma elektrochemické koroze železa [3] .....	14
Obrázek 2: Pourbaixův diagram [3] [5] .....	15
Obrázek 3: Schéma koroze ocelové výztuže v betonu [3] .....	15
Obrázek 4: Rozdělení inhibitorů koroze [7] .....	17
Obrázek 5: Znázornění efektu a mechanismu anodického inhibitoru koroze [4] ..	18
Obrázek 6: Znázornění efektu a mechanismu katodického inhibitoru koroze [9]..	19
Obrázek 7: Znázornění efektu a mechanismu organického inhibitoru [9] .....	20
Obrázek 8: Kapilární elevace [14] .....	29
Obrázek 9: Princip difúze kapalin [15] .....	30
Obrázek 10: Znázornění principu adsorpce [16] .....	30
Obrázek 11: Bednicí tvarovka BTB – PREFA BRNO [39] .....	48
Obrázek 12: Ztracené bednění – BEST [40] .....	48
Obrázek 13: Bednicí tvárnice CSB – CS-BETON [41] .....	49
Obrázek 14: Tvárnice ztraceného bednění T-PD – BETON BROŽ .....	50
Obrázek 15: Dřevocementová tvárnice IZOBLOK – MFC-MORFICO [43] .....	51
Obrázek 16: Štěpkocementová deska WSD – VELOX [44] .....	52
Obrázek 17: Třívrstvá vodovzdorná bednicí deska – DOKA [45] .....	52
Obrázek 18: Vodovzdorná bednicí deska FinPly Maxi – PERI [46] .....	53
Obrázek 19: Překližovaná deska [47] .....	53
Obrázek 20: Schématické znázornění dvou čerstvých cementových past s hodnotami vodního součinitele 0,65 a 0,25 [52] .....	56
Obrázek 21: Zkušební tělesa uložená v klimatizační komoře .....	61
Obrázek 22: Odebrané vzorky z bednicího dílce BD1 a betonového jádra BS3 ..	62

## 17. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek anodického inhibitoru. ( $E_{\text{corr}}$ = korozní potenciál, $i_{\text{corr}}$ = korozní rychlost) Přítomnost anodického inhibitoru způsobuje posun v korozním potenciálu a rychlosti koroze na $E'_{\text{corr}}$ a $i'_{\text{corr}}$ . Rychlost koroze je snížena, zatímco korozní potenciál se posune k vyšším (pozitivnějším) hodnotám. [10] .....	18
Graf 2: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek anodického inhibitoru. ( $E_{\text{corr}}$ = korozní potenciál, $i_{\text{corr}}$ = korozní rychlost) Přítomnost katodického inhibitoru způsobuje posun v korozním potenciálu a rychlosti koroze na $E'_{\text{corr}}$ a $i'_{\text{corr}}$ . Rychlost koroze je snížena, zatímco korozní potenciál se posune k nižším (více negativním) hodnotám. [10].....	19
Graf 3: Schematický diagram aktuálního potenciálu znázorňující účinek organického inhibitoru. ( $E_{\text{corr}}$ = korozní potenciál, $i_{\text{corr}}$ = korozní rychlost) Přítomnost organického inhibitoru způsobuje snížení rychlosti koroze ( $i'_{\text{corr}}$ ) a zanedbatelné zvýšení korozního potenciálu ( $E'_{\text{corr}}$ ). [10].....	20
Graf 4: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách zkušebních těles betonového jádra při plné saturaci vodou .....	63
Graf 5: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách zkušebních těles betonového jádra při vlhkosti 3%.....	64
Graf 6: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách bednicích dílců při plné saturaci vodou .....	65
Graf 7: Důkaz přítomnosti inhibitoru v různých hloubkách bednicích dílců při vlhkosti 3 % .....	65